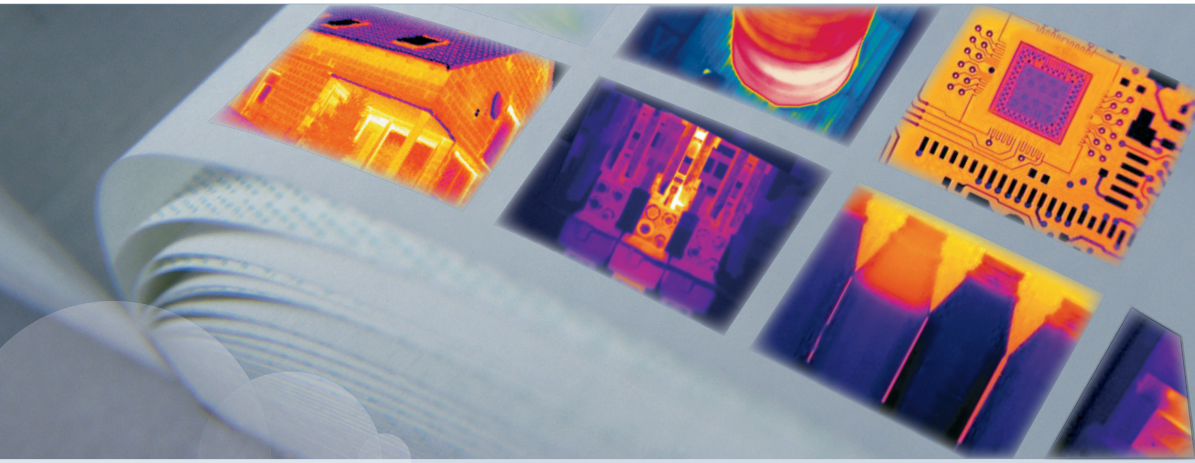
ユーザーマニュアル



FLIR i3
FLIR i5
FLIR i7
Extech IRC30

Publ. No.	T559586
Revision	a506
Language	Japanese (JA)
Issue date	February 4, 2011

ユーザーマニュアル

Publ. No. T559586 Rev. a506 – JAPANESE (JA) – February 4, 2011

免責条項

FLIR Systemsが製造するすべての製品は、FLIR Systemsの指示に準拠して保存、使用、保守が通常通り行われていた場合、最初の購入による配達日から 1 年間、素材および製造時の不良に対し保証されます。

FLIR Systemsが製造したものではないが FLIR Systemsが最初の購入者に納品したシステムに組み込まれている製品は、特定のサプライヤーの保証がある場合は、その保証のみが付けられています。FLIR Systemsはそのような製品に対し、いかなる責任も負いません。

この保証は最初の購入者のみを対象とし、譲渡できません。また、誤用、不履行、偶発事故、または異常な操作が行われた製品には適用されません。消耗品はこの保証から除外されます。

この保証の対象となる製品で不良が発生した場合、更なる損害を防ぐため、その製品を続けて使用してはいけません。購入者はすぐに不良を FLIR Systems に報告するものとします。これを怠ると保証は適用されません。

FLIR Systems は、調査によりかかる不良が素材によりまたは製造時に発生したことが証明され、上記1年の期間内に FLIR Systems に返品された場合、その自由裁量により、かかる不良製品を無償で修理または交換するものとします。

FLIR Systems は上記に規定した以外の不良に対する責務または法的責任を負いません。

その他の一切の保証は表明または暗示されていません。FLIR Systems は商品性の黙示保証および特定の目的への適合性への免責をここに明示します。

FLIR Systems は、契約や不法行為など他の法理論に基づいていようと、直接的、間接的、特別な、偶発的、または必然の損失または損害に対する責任を負わないものとします。

この保証には、スウェーデンの法律が適用されます。

この保証が原因で、あるいはこの保証に関連して生じた紛争、論争、申し立ては、最終的にはストックホルム商工会議所の仲裁協会の規則に従って解決するものとします。仲裁場所はストックホルムとします。仲裁手続で使用する言語は英語とします。

著作権

© 2011, FLIR Systems.すべての国での無断複製転載を禁ず。磁気メディア、光学メディア、手作業などいかなる方式または手段であっても、FLIR Systems の書面による承諾なくソースコードを含むソフトウェアの一部を別の言語またはコンピュータ言語に複製、譲渡、複写、翻訳することを禁じます。

FLIR Systemsによる事前の書面による承諾なく、本書全体またはその一部を、いかなる電子メディアまたは機械が読み取りできる形式に複写、コピー印刷、複製、翻訳、または譲渡することを禁じます。

本書に記載された製品に表示される名称および記号は FLIR Systems および・または関連会社の登録商標または商標です。本書にて参照されるその他の商標、商用名、または社名は識別のみを目的に使用されており、各所有者の所有物です。

品質保証

これらの製品が開発および製造される品質管理システムは ISO 9001 規格に準拠していることが証明されています。

FLIR Systems は開発続行ポリシーを公約しています。そのため、事前に通知することなく本書に記載された各製品を変更および改良する権利を保持しています。

特許権

次の1つまたは複数の特許または意匠特許が、このマニュアルで記載した製品/機能に適用します。

0002258-2; 000279476-0001; 000439161; 000499579-0001; 000653423; 000726344; 000859020; 000889290; 001106306-0001; 0101577-5; 0102150-0; 0200629-4; 0300911-5; 0302837-0; 1144833; 1182246; 1182620; 1188086; 1263438; 1285345; 1287138; 1299699; 1325808; 1336775; 1365299; 1678485; 1732314; 200530018812.0; 200830143636.7; 2106017; 235308; 3006596; 3006597; 466540; 483782; 484155; 518836; 60004227.8; 60122153.2; 602004011681.5-08; 6707044; 68657; 7034300; 7110035; 7154093; 7157705; 7237946; 7312822; 7332716; 7336823; 7544944; 75530; D540838; D549758; D579475; D584755; D599,392; DI6702302-9; DI6703574-4; DM/057692; DM/061609; ZL00809178.1; ZL01823221.3; ZL01823226.4; ZL02331553.9; ZL02331554.7; ZL200530120994.2; ZL200630130114.4; ZL200730151141.4; ZL200730339504.7; ZL200830128581.2

EULA Terms

- You have acquired a device (“INFRARED CAMERA”) that includes software licensed by FLIR Systems AB from Microsoft Licensing, GP or its affiliates (“MS”). Those installed software products of MS origin, as well as associated media, printed materials, and “online” or electronic documentation (“SOFTWARE”) are protected by international intellectual property laws and treaties. The SOFTWARE is licensed, not sold. All rights reserved.
- IF YOU DO NOT AGREE TO THIS END USER LICENSE AGREEMENT (“EULA”), DO NOT USE THE DEVICE OR COPY THE SOFTWARE. INSTEAD, PROMPTLY CONTACT FLIR Systems AB FOR INSTRUCTIONS ON RETURN OF THE UNUSED DEVICE(S) FOR A REFUND. **ANY USE OF THE SOFTWARE, INCLUDING BUT NOT LIMITED TO USE ON THE DEVICE, WILL CONSTITUTE YOUR AGREEMENT TO THIS EULA (OR RATIFICATION OF ANY PREVIOUS CONSENT).**
- **GRANT OF SOFTWARE LICENSE.** This EULA grants you the following license:
  - You may use the SOFTWARE only on the DEVICE.
  - **NOT FAULT TOLERANT.** THE SOFTWARE IS NOT FAULT TOLERANT.FLIR Systems AB HAS INDEPENDENTLY DETERMINED HOW TO USE THE SOFTWARE IN THE DEVICE, AND MS HAS RELIED UPON FLIR Systems AB TO CONDUCT SUFFICIENT TESTING TO DETERMINE THAT THE SOFTWARE IS SUITABLE FOR SUCH USE.

- **NO WARRANTIES FOR THE SOFTWARE.** THE SOFTWARE is provided "AS IS" and with all faults. THE ENTIRE RISK AS TO SATISFACTORY QUALITY, PERFORMANCE, ACCURACY, AND EFFORT (INCLUDING LACK OF NEGLIGENCE) IS WITH YOU. ALSO, THERE IS NO WARRANTY AGAINST INTERFERENCE WITH YOUR ENJOYMENT OF THE SOFTWARE OR AGAINST INFRINGEMENT. **IF YOU HAVE RECEIVED ANY WARRANTIES REGARDING THE DEVICE OR THE SOFTWARE, THOSE WARRANTIES DO NOT ORIGINATE FROM, AND ARE NOT BINDING ON, MS.**

- No Liability for Certain Damages. **EXCEPT AS PROHIBITED BY LAW, MS SHALL HAVE NO LIABILITY FOR ANY INDIRECT, SPECIAL, CONSEQUENTIAL OR INCIDENTAL DAMAGES ARISING FROM OR IN CONNECTION WITH THE USE OR PERFORMANCE OF THE SOFTWARE. THIS LIMITATION SHALL APPLY EVEN IF ANY REMEDY FAILS OF ITS ESSENTIAL PURPOSE. IN NO EVENT SHALL MS BE LIABLE FOR ANY AMOUNT IN EXCESS OF U.S. TWO HUNDRED FIFTY DOLLARS (U.S.$250.00).**

- **Limitations on Reverse Engineering, Decompilation, and Disassembly.** You may not reverse engineer, decompile, or disassemble the SOFTWARE, except and only to the extent that such activity is expressly permitted by applicable law notwithstanding this limitation.

- **SOFTWARE TRANSFER ALLOWED BUT WITH RESTRICTIONS.** You may permanently transfer rights under this EULA only as part of a permanent sale or transfer of the Device, and only if the recipient agrees to this EULA. If the SOFTWARE is an upgrade, any transfer must also include all prior versions of the SOFTWARE.

- **EXPORT RESTRICTIONS.** You acknowledge that SOFTWARE is subject to U.S. export jurisdiction. You agree to comply with all applicable international and national laws that apply to the SOFTWARE, including the U.S. Export Administration Regulations, as well as end-user, end-use and destination restrictions issued by U.S. and other governments. For additional information see http://www.microsoft.com/exporting/.

目次

1 警告および注意 1

2 ユーザーへの通知 3

3 ユーザー ヘルプ 4

4 文書の更新 5

5 このマニュアルについての重要なお知らせ 6

6 クイック スタート ガイド 7

7 梱包リスト 9

8 カメラ部品 10

9 画面要素 13

10 コネクタおよび記憶メディア 15

11 カメラを使用する 16
- 11.1 バッテリーの装着 16
- 11.2 バッテリーの充電 17
- 11.3 画像の保存 19
- 11.4 画像の呼び出し 20
- 11.5 画像アーカイブを開く 21
- 11.6 画像を削除する 22
- 11.7 すべての画像の削除 23
- 11.8 スポットメーターを使用して温度を測定する 24
- 11.9 エリアを使用して温度を測定する 25
- 11.10 設定された温度レベルを上回る/下回るすべてのエリアをマーキングする 26
- 11.11 色パレットを変更する 27
- 11.12 カメラ設定を変更する 28
- 11.13 画像モードの変更 29
- 11.14 表面特性の設定 30
- 11.15 放射率の変更 31
- 11.16 反射見かけ温度の変更 32
- 11.17 カメラのリセット 33
- 11.18 カメラのシリアル番号を見つける 34

12 カメラのクリーニング 35
- 12.1 カメラの筐体、ケーブルおよびその他のアイテム 35
- 12.2 赤外線レンズ 36
- 12.3 赤外線検出器 37

13 技術的なデータ 38
- 13.1 カメラ データ 38
- 13.2 追加データ 41
- 13.3 付属品データ 43

14 寸法 44
- 14.1 カメラ (正面) 44

14.2 カメラ (側面) 45

15 適用例 46
15.1 湿気および水による損傷 46
15.2 ソケットの不完全な接続 47
15.3 酸化したソケット 48
15.4 断熱材の損傷 49
15.5 隙間風 50

16 ビルディング サーモグラフィについて 51
16.1 免責条項 51
16.1.1 著作権情報 51
16.1.2 トレーニングおよび認定 51
16.1.3 国または地域の建築基準法 51
16.2 重要な注意事項 51
16.3 特有な分野の調査 52
16.3.1 ガイドライン 52
16.3.1.1 一般的なガイドライン 52
16.3.1.2 湿度検出、かび検出、水害検出のガイドライン 52
16.3.1.3 換気および断熱材の欠損の検出についてのガイドライン 53
16.3.2 湿度検出について 53
16.3.3 湿度検出 (1): 商業用の低勾配の屋根 54
16.3.3.1 一般情報 54
16.3.3.2 安全上の注意 55
16.3.3.3 商業建物構造 55
16.3.3.4 コメント付きの熱画像 57
16.3.4 湿度検出 (2): 商業用および住宅用の正面 58
16.3.4.1 一般情報 58
16.3.4.2 商業建物構造 59
16.3.4.3 コメント付きの熱画像 61
16.3.5 湿度検出 (3): デッキおよびバルコニー 61
16.3.5.1 一般情報 61
16.3.5.2 商業建物構造 62
16.3.5.3 コメント付きの熱画像 64
16.3.6 湿度検出 (4): 配管系統の損傷および水漏れ 64
16.3.6.1 一般情報 64
16.3.6.2 コメント付きの熱画像 65
16.3.7 換気 67
16.3.7.1 一般情報 67
16.3.7.2 商業建物構造 67
16.3.7.3 コメント付きの熱画像 69
16.3.8 断熱材の損傷 70
16.3.8.1 一般情報 70
16.3.8.2 商業建物構造 70
16.3.8.3 コメント付きの熱画像 72
16.4 建築科学の理論 74
16.4.1 一般情報 74
16.4.2 テストおよび検査の影響 74
16.4.3 サーモグラフィ検査の混乱の原因 76
16.4.4 表面温度と空気の漏れ 77
16.4.4.1 建物内の気圧状況 78
16.4.5 測定条件および測定の季節 82
16.4.6 熱画像の解釈 83
16.4.7 湿度および露点 84

16.4.7.1 相対湿度および絶対湿度 84
16.4.7.2 露点の定義 85
16.4.8 技術ノート「熱ブリッジと断熱連続性の査定」 (英国の例) からの抜粋 85
16.4.8.1 謝辞 85
16.4.8.2 はじめに 85
16.4.8.3 背景情報 85
16.4.8.4 熱異常の量的な評価 86
16.4.8.5 条件および設備 89
16.4.8.6 検査および分析 90
16.4.8.7 レポート作成 91

17 電気設備のサーモグラフィー検査について 93
17.1 重要な注意事項 93
17.2 一般情報 93
17.2.1 はじめに 93
17.2.2 一般設備データ 94
17.2.3 検査 95
17.2.4 分類およびレポート 95
17.2.5 優先順位 96
17.2.6 修理 96
17.2.7 制御 97
17.3 電気設備のサーモグラフィー検査の測定手法 98
17.3.1 装備を正確に設定する方法 98
17.3.2 温度測定 98
17.3.3 比較測定 100
17.3.4 通常動作温度 101
17.3.5 欠陥の分類 102
17.4 レポート作成 104
17.5 電気設備での異なる種類のホット スポット 106
17.5.1 反射 106
17.5.2 太陽熱 107
17.5.3 誘導熱 107
17.5.4 負荷変化 107
17.5.5 変化する冷却条件 108
17.5.6 抵抗変化 109
17.5.7 一方の欠陥による他方の過熱 109
17.6 電気設備のサーモグラフィー検査の障害係数 111
17.6.1 風 111
17.6.2 雨および雪 111
17.6.3 対象との距離 111
17.6.4 オブジェクト サイズ 113
17.7 サーモグラフィー検査者への実際的なアドバイス 115
17.7.1 冷から熱へ 115
17.7.2 雨 115
17.7.3 放射率 115
17.7.4 反射見かけ温度 116
17.7.5 対象が遠くにあり過ぎる 116

18 FLIR Systems 情報 117
18.1 赤外線カメラを超える機能 118
18.2 知識の共有 119
18.3 カスタマー サポート 119
18.4 当社の製造・開発現場から 119

19 用語集 121

20 熱測定技術 125
20.1 はじめに 125
20.2 放射率 125
20.2.1 サンプルの放射率を見つける 125
20.2.1.1 ステップ1： 反射された明らかな温度の決定 125
20.2.1.2 ステップ2： 放射率の決定 128
20.3 反射見かけ温度 129
20.4 距離 129
20.5 相対湿度 129
20.6 その他のパラメータ 129

21 赤外線技術の歴史 130

22 サーモグラフィの理論 134
22.1 はじめに 134
22.2 電磁スペクトル 134
22.3 黒体放射 135
22.3.1 Planck の法則 136
22.3.2 Wien の変位の法則 137
22.3.3 Stefan-Boltzmann の法則 139
22.3.4 非黒体発散体 139
22.4 赤外線半透過性素材 142

23 測定演算式 143

24 放射率表 148
24.1 参考文献 148
24.2 放射率表についての重要な注 148
24.3 表 149

1 警告および注意

警告

- 本機は無線周波エネルギーを発生、使用、および外部に放射することがあります。取扱説明書どおりに設置および使用しない場合、無線通信に影響を与えることがあります。本機は、FCC 規則第15章の J 項に定められたクラス A コンピュータ機器に関する規制要件に基づいて所定の試験が実施され、これに適合するものと認定されています。これは商業環境で機器を操作するときに、電波妨害からの適切な保護を提供することを目的としています。住宅地域における本機の使用は有害な電波妨害を引き起こすことがあり、その場合ユーザーは自己負担で電波妨害の問題を解決しなければなりません。
- (レーザー ポインタ付きカメラのみに該当:) レーザー ビームを直視しないでください。レーザー ビームが目の炎症の原因になることがあります。
- バッテリーを装着したカメラのみに該当:
  - バッテリーを分解したり、改造したりしないでください。バッテリーには安全および保護のための部品が構成されており、それが損傷されると、過熱、爆発または発火の原因になります。
  - バッテリーの液が漏れて、液体が目に入った場合は、目をこすらないでください。目を水でよくすすぎ、すぐに治療を受けてください。すぐに治療を受けない場合、バッテリー液によって目を損傷することがあります。
  - 指定された充電時間に充電が完了しなかった場合は、充電を継続しないでください。バッテリーの充電を続けると、バッテリーが加熱し、爆発や発火の原因になります。
  - バッテリーの放電には、正しい装置のみを使用してください。正しい装置を使用しないと、バッテリーの性能を落としたり、バッテリーの寿命を縮めてしまうことがあります。正しい装置を使用しないと、不適切な電流がバッテリーに流れてしまうことがあります。これにより、バッテリーが加熱し、爆発で怪我をする可能性があります。
- 液体を使用される前に、該当する MSDS (製品安全データシート) と容器に記載されている警告ラベルをお読みください。液体は取り扱いによっては危険な場合があります。

注意

- レンズ カバーを装着しているかどうかを問わず、赤外線カメラを高集中エネルギー源 (例えば、レーザー光線を放射する機器や太陽) に向けないでください。これは、カメラの精度に望ましくない影響を与えることがあります。また、カメラの検出素子を損傷することもあります。
- ユーザー資料により指定されているのではない限り、気温が +50°C 以上の場所でカメラを使用しないでください。気温が高いと、カメラの損傷の原因になることがあります。
- (レーザー ポインタ付きカメラのみに該当:) レーザー ポインタを動作させていないとき、保護キャップでレーザー ポインタを保護してください。
- バッテリーを装着したカメラのみに該当:
  - FLIR Systems 製シガー ライター ソケットにバッテリーを接続するための特別アダプターがない場合、バッテリーを車のシガーライターソケットに直接接続しないでください。
  - バッテリーの陽極と陰極を金属の物体 (ワイヤなど) でつながないでください。

- バッテリーを水や塩水に付けたり、バッテリーを濡らさないようにしてください。
- バッテリーに穴を開けないでください。バッテリーをハンマーでたたかないでください。バッテリーを踏んだり、強い衝撃を与えないでください。
- バッテリーを火の中や近くに置いたり、直射日光に当てないでください。バッテリーが高温になると、組み込みの保護機能が作動し、充電が中止されます。バッテリーが熱くなると、保護機能が破壊され、さらに過熱したり、故障したり、バッテリの発火の原因になります。
- バッテリーを火の上に置いたり、バッテリを加熱して温度を上げないでください。
- バッテリーを火、ストーブの上や付近、または高い温度の場所に置かないでください。
- バッテリーに直接はんだ付けしないでください。
- バッテリーの使用中、充電中、または保管中に異常なにおいがしたり、熱くなったり、色が変わったり、形が変わったり、または他の異常な状況が見られたときは、バッテリーを使用しないください。これらの問題が見られた場合は、販売店に相談してください。
- バッテリーを充電するときは、指定された充電器のみを使用してください。
- バッテリーを充電できる温度範囲は、ユーザー資料に別途の指定がない限り、±0°C から +45°C です。この範囲外の気温でバッテリーを充電すると、バッテリーが過熱したり故障することがあります。また、バッテリーの性能が低下したり、寿命が縮むことがあります。
- バッテリーを放電できる温度範囲は、ユーザー資料に別途の指定がない限り、−15°C から +50°C です。この範囲外の気温でバッテリーを使用すると、バッテリーの性能を損ねたり、バッテリーの寿命を縮めてしまうことがあります。
- バッテリーが古くなった場合、処分する前にバッテリーの両極をテープなどで絶縁してください。
- バッテリーを装着する前に、水分や湿気をバッテリーから取り除いてください。

- カメラ、ケーブルおよびその他のアイテムに、溶剤や同様の液体を使用しないでください。損傷の原因になることがあります。
- 赤外線レンズは注意してクリーニングしてください。レンズには、反射防止膜が施されています。
- 赤外線レンズをクリーニングする際は、力を入れ過ぎないでください。これにより反射防止膜が損傷を受けることがあります。
- 炉およびその他の高温アプリケーションでは、カメラに熱シールドを取り付ける必要があります。熱シールドなしで、カメラを炉またはその他の高温のアプリケーションで使用すると、カメラを損傷することがあります。
- (自動シャッターを有効にできるカメラのみに該当)長時間カメラの自動シャッターを無効にしないでください (通常最大 30 分間)。長時間シャッターを無効にしておくと、検出器を破損または修復不能なまで損傷してしまうことがあります。
- 保護構造グレードは、カメラのすべての開口部が指定のカバー、ハッチまたはキャップで閉じられている場合にのみ有効です(これにはデータ ストレージ、バッテリーおよびコネクタ部分を含みませんがこれらに限定されません)。

2 ユーザーへの通知

ユーザー フォーラム

弊社のユーザー フォーラムでは、赤外線分析を行う世界中のユーザーと意見を交換したり、問題や赤外線ソリューションを共有したりすることができます。フォーラムに参加するには、次のサイトを参照してください。

http://www.infraredtraining.com/community/boards/

キャリブレーション

(この注意事項は、測定機能のあるカメラのみに該当します。)

年に一度、カメラをキャリブレーションに出すことをお勧めいたします。カメラの送り先については、お近くの販売店にお問い合わせください。

精度

(この注意事項は、測定機能のあるカメラのみに該当します。)

正確な結果を得るため、カメラの起動後 5 分以上経過してから温度を測定することをお勧めいたします。

検出器がメカニカルクーラーで冷却されるカメラの場合、検出器の冷却にかかる時間はこの時間周期に含まれません。

電気廃棄物の処理

10742803;a1

ほとんどの電気製品と同様、この装置は環境にやさしい方法で処理を行う必要があります。また、電気廃棄物に関する既存の規制を順守する必要があります。

詳細については、お近くの FLIR Systems 代理店にお問い合わせください。

トレーニング

赤外線測定のトレーニング情報については、次のサイトを参照してください。

- http://www.infraredtraining.com
- http://www.irtraining.com
- http://www.irtraining.eu

3 ユーザー ヘルプ

一般

カスタマー サポートをお求めの場合は、次のサイトを参照してください。

http://support.flir.com

質問を送信する

ユーザー ヘルプ チームに質問を送信するには、ユーザー登録が必要になります。オンライン登録は数分で完了します。ナレッジベースで既存の質問と回答などを検索するだけであれば、ユーザー登録は不要です。

質問を送信するときは、次の情報を入手していることを確認してください。

- カメラのモデル名
- カメラの製造番号
- カメラと PC 間の通信プロトコルまたは方法 (例えば、HDMI、Ethernet、USB™、または FireWire™)
- ご使用の PC のオペレーティング システム
- Microsoft® Office バージョン
- マニュアルの正式名称、出版番号および改訂番号

ダウンロード

ユーザー ヘルプ サイトでは、以下のものもダウンロードできます。

- 赤外線カメラ用のファームウェア更新
- PC ソフトウェア用のプログラム更新
- ユーザー資料
- 適用事例
- 技術資料

4 文書の更新

一般

取扱説明書は年に数回更新されます。また、製品にとって重要な変更通知も定期的に発行されます。

最新の取扱説明書と通知にアクセスするには、以下のDownloadタブにアクセスしてください。

http://support.flir.com

オンライン登録にはほんの数分しかかかりません。ダウンロードエリアでは、他の製品の取扱説明書の最新版や旧バージョンでサポートが終了した製品の取扱説明書も提供されています。

5 このマニュアルについての重要なお知らせ

一般

FLIR Systems は、モデル ラインのいくつかのカメラをカバーした汎用マニュアルを発行しています。

従って、マニュアルの記載や説明が、お使いの特定のカメラには当てはまらない場合もありますので、ご注意ください。

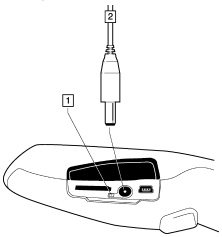
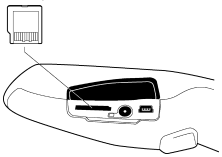
注

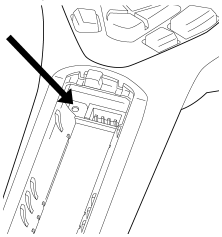
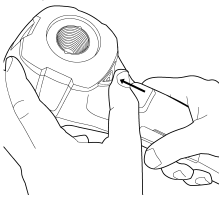
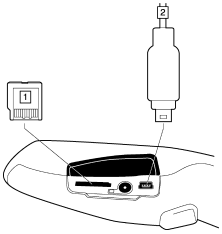
FLIR　Systemsは、事前の通知なく、どの時点においてもモデル、ソフトウェア、部品や付属品、およびその他のアイテムを製造中止にしたり、仕様を変更したりする権限を有します。

6 クイック スタート ガイド

手順

すぐにカメラを使い始めるには次の手順に従ってください。

1	LCD の保護フィルムを剥がします。
2	カメラを最初に使用する前に、カメラ内のバッテリーを丸 4 時間 (または、バッテリー充電インジケータが緑色に点灯するまで) 充電する必要があります。 カメラの電源コネクタに電源を接続してバッテリーを充電します。適切な AC プラグを使用してください。 注：工場から出荷したバッテリーを初めて充電する場合、カメラの電源コネクターを電源に接続した後にカメラをオン・オフにしなければなりません。 T630175;a1  **1** バッテリー充電インジケータ **2** 電源ケーブル
3	カード スロットに miniSD™ メモリー カードを差し込みます。 T630176;a1 

4	**[オン/オフ]** ボタンを押して、カメラの電源を入れます。 注:カメラが起動しない場合、導電性のないツールでリセット ボタンを押してください。このリセット ボタンは、バッテリー ケース内のバッテリー コネクタの隣にあります。それから **オン/オフ** ボタンを再び押してください。 リセットボタン： T630179;a1 
5	レンズ キャップ レバーを押し、レンズ キャップを開きます。 T630177;a1 
6	カメラを対象物に向けます。
7	**保存**トリガーを押して画像を保存します。
8	次のいずれかの操作を行って、画像をコンピュータに移動します。 T630178;a1  ■ (図 **1**) miniSD™ メモリー カードを取り出し、コンピュータに接続されているカード リーダーに挿入します。miniSD™ カード アダプタは、カメラに同梱されています。 ■ (上記の図. **2**) USB™ Mini-B ケーブルを使用して、コンピュータをカメラに接続します。
9	Windows® Explorer で、ドラッグアンドドロップ操作により、カードまたはカメラから画像を移動します。

7 梱包リスト

内容

- バッテリー (カメラ内部)
- キャリブレーション証明
- FLIR QuickReport CD
- ハンドストラップ
- 赤外線カメラ
- miniSD カード (512 MB)、SD アダプタ付き
- 電源/充電器。EU、UK、US、オーストラリア対応プラグ付き
- 入門ガイド（印刷物）
- USB ケーブル
- ユーザー マニュアル CD-ROM

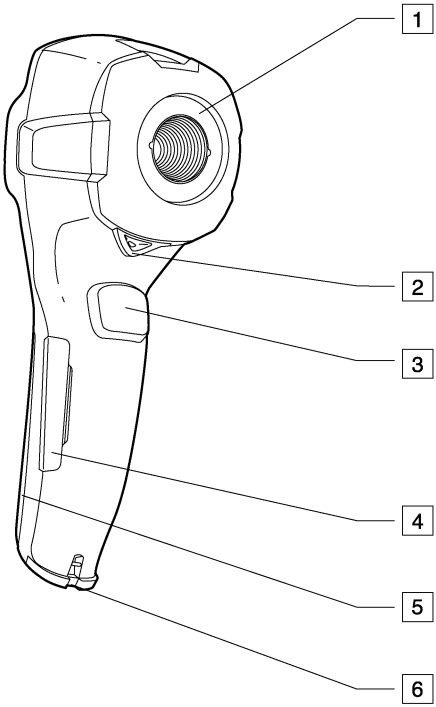
注

- 何らかのアイテムが損傷していたり、不足していた場合は、お近くの販売店に連絡してください。このマニュアルの裏表紙にお近くの販売店の住所と電話番号が記載されています。
- FLIR Systems は、事前の通知なく、どの時点においてもモデル、部品や付属品、およびその他のアイテムを製造中止にしたり、仕様を変更したりする権限を有します。

8 カメラ部品

図

10780903;a1



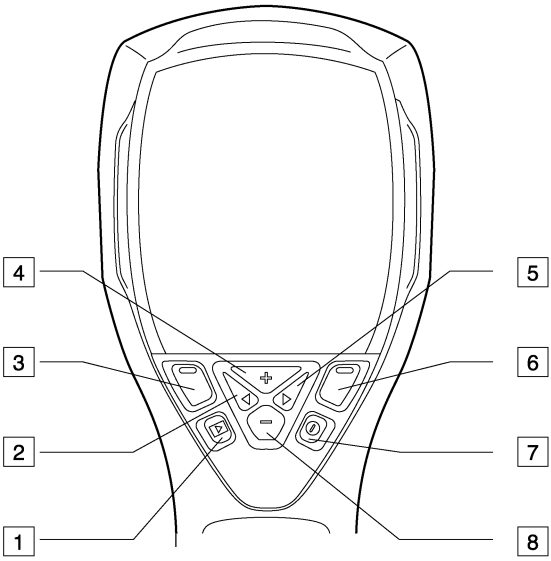
説明

この表は、上の図についての説明です。

1	赤外線レンズ
2	レンズ キャップの開閉用レバー
3	画像保存用トリガー
4	コネクタおよび miniSD™ メモリー カード スロット用カバー
5	バッテリー ケース用カバー
6	ハンド ストラップのカメラへの取り付け位置

図

10781003;a1



説明

この表は、上の図についての説明です。

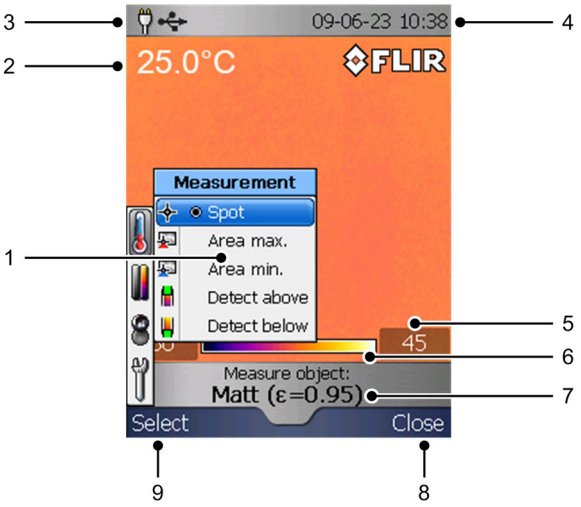
1	**[アーカイブ]** ボタン 機能:ボタンを押すと、画像アーカイブが開きます。
2	左矢印ボタン (ナビゲーション パッド上) 機能: ■ ボタンを押すと、メニュー、サブメニュー、ダイアログ ボックスで左に移動できます。 ■ ボタンを押すと、画像アーカイブ内でナビゲートできます。
3	左選択ボタン。このボタンは状況依存であり、現在の機能は画面のボタン上に表示されます。
4	+ ボタン (ナビゲーション パッド上) 機能: ■ ボタンを押すと、メニュー、サブメニュー、ダイアログ ボックスで上に移動できます。 ■ ([**Archive**] ボタンを押した後で) これを押すと、画像アーカイブが開きます。 ■ ボタンを押すと、値が減少/変化します。

5	右矢印ボタン (ナビゲーション パッド上) 機能: ■ ボタンを押すと、メニュー、サブメニュー、ダイアログ ボックスで右に移動できます。 ■ ボタンを押すと、画像アーカイブ内でナビゲートできます。
6	右選択ボタン。このボタンは状況依存であり、現在の機能は画面のボタン上に表示されます。
7	**[オン/オフ]** ボタン 機能: ■ ボタンを押すと、カメラの電源が入ります。 ■ 1 秒以上押し続けると、カメラの電源が切れます。
8	– ボタン (ナビゲーション パッド上) 機能: ■ ボタンを押すと、メニュー、サブメニュー、ダイアログ ボックスで下に移動できます。 ■ ボタンを押すと、値が減少/変化します。

9 画面要素

図

10781203;a2



説明

この表は、上の図についての説明です。

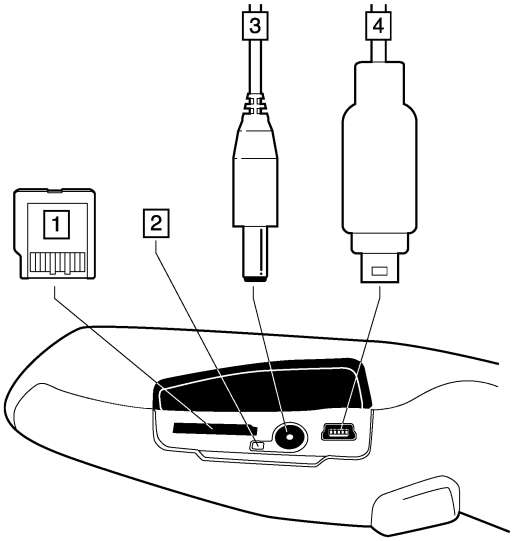
1	メニュー システム
2	検索結果
3	電源インジケーター アイコン / 意味 次のいずれかです。 ■ カメラの電源はバッテリーからとられています。 ■ バッテリー充電中です (バッテリー充電のアニメーションが使用されます)。 バッテリーは完全に充電されており、カメラの電源は電源ケーブルからとられています。
4	日時
5	温度スケールの制限値

6	温度スケール
7	現在設定されている放射率の値または材料の特性
8	右選択ボタンの現在の機能
9	左選択ボタンの現在の機能

10 コネクタおよび記憶メディア

図

10780803;a1



説明

この表は、上の図についての説明です。

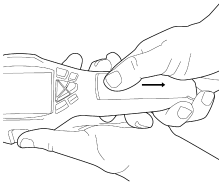
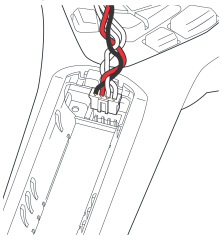
1	miniSD™ メモリー カード miniSD™ メモリー カードに保存する画像数は 5,000 枚以内にすることをお勧めします。 メモリー カードに 5,000 枚以上の画像を保存する容量があっても、これ以上の画像を保存すると、miniSD™ メモリー カードのファイル管理機能の処理速度が大幅に低下します。 注**:** miniSD™ メモリー カードの記憶サイズには上限はありません。
2	バッテリー充電インジケータ: ■ 点灯せず: 電源が接続されていません。 ■ .オレンジライト：バッテリーは充電中です。 ■ 緑色が点灯: バッテリーの充電が完了しています。
3	電源ケーブル
4	USB ケーブル (USB Mini-B コネクタ付き)

11 カメラを使用する

11.1 バッテリーの装着

手順

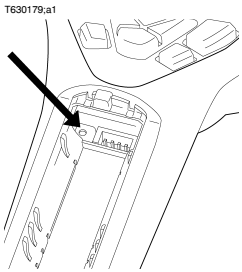
バッテリーを装着するときは、次の手順に従います。

1	バッテリー ケースのカバーを取り外します。 T630174;a1 
2	バッテリー ケース内部のコネクタに、バッテリーに接続されたケーブルを接続します。 注: この作業中は導電ツールを使用しないでください。 T630173;a2 
3	ケースにバッテリーを押し込みます。
4	カバーを元に戻し、バッテリー ケースを閉めます。

11.2 バッテリーの充電

注

- カメラを最初に使用する前に、カメラ内のバッテリーを丸4時間 (または、バッテリーインジケータが緑色に点灯するまで) 充電する必要があります。
- 注：工場から出荷したバッテリーを初めて充電する場合、カメラの電源コネクターを電源に接続した後にカメラをオン・オフにしなければなりません。
- バッテリーを充電した後、カメラが起動しない場合、導電性のないツールでリセットボタンを押してください。このリセットボタンは、バッテリーケース内のバッテリー コネクタの隣にあります。それから **オン**/**オフ** ボタンを再び押してください。
  リセットボタン：



- バッテリーを頻繁に交換しないでください。バッテリーが磨耗したときのみ、交換してください。

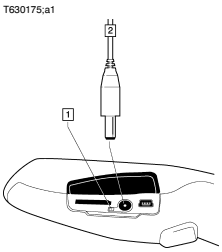
バッテリー充電インジケータについて

バッテリー充電インジケータとは、電源コネクタの横にある LED です。次のような信号を表示します。

- 点灯せず: 電源が接続されていません。
- .オレンジライト：バッテリーは充電中です。
- 緑色が点灯: バッテリーの充電が完了しています。

手順

この手順に従って、バッテリーを充電してください。

1	カメラの電源コネクタに電源ケーブルを接続します。  **1** バッテリー充電インジケータ **2** 電源ケーブル

2	電源メイン電気プラグをメイン ソケットに接続します。適切な AC プラグを使用してください。
3	バッテリー充電インジケータが緑色に点灯したら、電源ケーブル プラグを取り外します。

11.3 画像の保存

一般

miniSD™ メモリー カードに、複数の画像を保存できます。

画像容量

miniSD™ メモリー カードに保存する画像数は 5,000 枚以内にすることをお勧めします。

メモリー カードに 5,000 枚以上の画像を保存する容量があっても、これ以上の画像を保存すると、メモリー カードのファイル管理機能の処理速度が大幅に低下します。

注: miniSD™ メモリー カードの記憶サイズには上限はありません。

メモリ カードのフォーマット

性能を最大限に高めるために、メモリー カードは FAT (FAT16) ファイル システムにフォーマットする必要があります。FAT32 フォーマットのメモリー カードを使用すると、性能が低下します。メモリー カードを FAT (FAT16) にフォーマットするには、次の手順に従います。

1	メモリー カードを、コンピュータに接続されているカード リーダーに挿入します。
2	Windows® エクスプローラで、[**マイ コンピュータ**] を選択し、メモリー カードを右クリックします。
3	[Format (**形式**)] を選択します。
4	[File system (**ファイル システム**)] で、[FAT] を選択します。
5	[**スタート**] をクリックします。

命名規則

画像の命名規則は **IR_xxxx.jpg** となります。ここで、**xxxx** は一意のカウンタです。**復元** を選択すると、カメラによりカウンタがリセットされ、1 つ上の未使用ファイル名が新しいファイルに割り当てられます。

手順

画像を保存するには、**保存**トリガーを押します。

11.4 画像の呼び出し

一般

画像を保存するとき、画像は取り出し可能な miniSD™ メモリー カードに保存されます。もう一度画像を表示するには、miniSD™ メモリー カードから画像を呼び出すことができます。

手順

この手順に従って、画像を呼び出します。

1	**[アーカイブ]** ボタンを押します。
2	以下のいずれかを実行してください： ■ ナビゲーション パッドの左ボタンまたは右ボタンを押して、表示する画像を選択します。 ■ + ボタンを押し、ナビゲーション パッドを使用して表示する画像を選択し、右選択ボタン (**開く**) を押します。
3	ライブ モードに戻るには、次のいずれかの操作を行います。 ■ **[アーカイブ]** ボタンを押します。 ■ 右選択ボタン (**クローズ**) を押します。

11.5 画像アーカイブを開く

一般

画像アーカイブとは、miniSD™ メモリー カード内の全画像をサムネイル表示するギャラリーです。

手順

この手順に従って、画像アーカイブを開きます。

1	**[アーカイブ]** ボタンを押します。
2	ナビゲーション パッドで + ボタンを押します。 これにより、画像アーカイブが表示されます。ナビゲーション パッドを使用して、アーカイブ内をナビゲートします。
3	選択した画像を開くには、右選択ボタン **(開く)** を押します。

11.6 画像を削除する

一般

miniSD™ メモリー カードで、1 つまたは複数の画像を削除できます。

方法 1

この手順に従って、画像を削除します。

1	**[アーカイブ]** ボタンを押します。
2	+ ボタンを押します。これにより、画像アーカイブが表示されます。
3	削除したい画像をナビゲーション パッドを使用して選択します。
4	左選択ボタン (**オプション**) を押します。
5	ナビゲーション パッドを使用して **画像削除** を選択します。
6	左選択ボタン (**選択**) を押します。
7	右選択ボタンを押して確定します (**削除**)。
8	ライブ モードに戻るには、次のいずれかの操作を行います。 ■ **[アーカイブ]** ボタンを押します。 ■ 右選択ボタン (**クローズ**) を押します。

方法 2

この手順に従って、画像を削除します。

1	**[アーカイブ]** ボタンを押します。
2	削除したい画像をナビゲーション パッドを使用して選択します。
3	左選択ボタン (**削除**) を押します。
4	右選択ボタンを押して確定します (**削除**)。
5	ライブ モードに戻るには、次のいずれかの操作を行います。 ■ **[アーカイブ]** ボタンを押します。 ■ 右選択ボタン (**クローズ**) を押します。

11.7 すべての画像の削除

一般

miniSD™ メモリー カードからすべての画像を削除できます。

手順

この手順に従って、すべての画像を削除します。

1	**[アーカイブ]** ボタンを押します。
2	+ ボタンを押します。これにより、画像アーカイブが表示されます。
3	左選択ボタン (**オプション**) を押します。
4	ナビゲーション パッドを使用して **全画像削除** を選択します。
5	左選択ボタン (**選択**) を押します。
6	右選択ボタンを押して確定します (**削除**)。

11.8 スポットメーターを使用して温度を測定する

一般

スポットメーターを使用して温度を測定することができます。これにより、画面上でスポットメーターがある位置の温度が表示されます。

手順

この手順に従ってください。

1	左選択ボタン (**メニュー**) を押します。
2	ナビゲーション パッドを使用して **[測定]** を選択します。
3	左選択ボタン (**選択**) を押します。
4	ナビゲーション パッドを使用して **[スポット]** を選択します。
5	左選択ボタン (**選択**) を押します。 スポットメーターがある位置の温度は、画面の左上隅に表示されます。

11.9 エリアを使用して温度を測定する

一般

継続的にカーソルを移動させて、エリア内の最高温度または最低温度を継続的に表示することができます。

手順

この手順に従ってください。

1	左選択ボタン (**メニュー**) を押します。
2	ナビゲーション パッドを使用して **[測定]** を選択します。
3	左選択ボタン (**選択**) を押します。
4	ナビゲーション パッドを使用して、次のいずれかを行います。 ▪ **エリア最高** ▪ **エリア最低**
5	左選択ボタン (**選択**) を押します。 カーソルを継続的に移動することで、エリア内の最高温度または最低温度が表示されるようになりました。 温度は画面の左上にも表示されます。

11.10 設定された温度レベルを上回る/下回るすべてのエリアをマーキングする

一般

設定された温度レベルを上回る/下回るすべてのエリアをマーキングすることができます。

手順

この手順に従ってください。

1	左選択ボタン (**メニュー**) を押します。
2	ナビゲーション パッドを使用して **[測定]** を選択します。
3	左選択ボタン (**選択**) を押します。
4	ナビゲーション パッドを使用して、次のいずれかを行います。 ■ Detect above (**上を検出**) ■ Detect below (**下を検出**)
5	左選択ボタン (**選択**) を押します。
6	この値を上回るか下回るとマーキングされる温度レベルを変更するには、ナビゲーション パッドを使用します。

11.11 色パレットを変更する

一般

カメラが異なる温度表示するのに使用するカラー パレットを変更することができます。異なるパレットを使用することによって、画像の分析が容易になります。

手順

この手順に従って、色パレットを変更してください。

1	左選択ボタン (**メニュー**) を押します。
2	ナビゲーション パッドを使用して **色パレット** に移動します。
3	左選択ボタン (**選択**) を押します。これにより、**色パレット** サブメニューが表示されます。
4	ナビゲーション パッドを使用して色パレットを選択します。
5	左選択ボタン (**選択**) を押して選択内容を確定し、サブメニューを終了します。

11.12 カメラ設定を変更する

一般

カメラの各種設定を変更できます。変更できる設定には、次のようなものがあります。

- **自動シャットダウン**
- **画面輝度**
- **言語**
- **単位**
- **時刻の形式**
- **時間設定**
- **タイムスタンプ**
- **ファームウェア** (カメラのプログラム アップデートをダウンロードします。詳細は http://flir.custhelp.com を参照してください。)
- **復元**

手順

この手順に従って、設定を変更してください。

1	左選択ボタン (**メニュー**) を押します。
2	ナビゲーション パッドを使用して **設定** に移動します。
3	左選択ボタン (**選択**) を押します。これにより、**設定** サブメニューが表示されます。
4	ナビゲーション パッドを使用して、変更する設定を選択します。
5	左選択ボタン (**選択**) を押し、ナビゲーション パッドを使用して新しい設定を選択します。
6	左選択ボタン (**選択**) を押して選択内容を確定し、サブメニューを終了します。または、右選択ボタン (**クローズ**) を押してメニューを終了します。

11.13 画像モードの変更

一般

カメラは次の 2 種類の画像モードで操作できます。

画像モード	アイコン	説明
自動	なし	**自動**モードでは、カメラは継続的に自動調整され、画像の明るさとコントラストが最高の状態になります。
ロック		**ロック** モードでは、温度スパンと温度レベルがロックされます。

ロック モードが適する場合

ロック モードの使用に適した状況としては、デザインまたは構成が似ている 2 つの対象物で温度に異常がないか見つける場合があります。

たとえば、2つのケーブルのうち一方が過熱している疑いがある場合、**ロック** モードを使用すると、片方が過熱していることが明確にわかります。このケーブルの方が温度が高いことから、*温度の高い方がより薄い*色で示されます。

もし**自動**モードを使用すると、2つの対象物は同じ温度であるように表示されます。

手順

ボタンを押して、**自動**モードと**ロック**モードを切り替えるには、右選択ボタン (**手動/ロック**) を押します。南京錠のアイコン ( ) は、ロック モードを示します。

11.14 表面特性の設定

一般

温度を正確に計測するためには、測定対象の表面がどのようなものであるかカメラに知らせる必要があります。

一番簡単な方法は、**測定** メニューで表面の特性を設定することです。次のいずれかの表面特性から選択できます。

- **マット**
- **半マット**
- **半光沢ト**
- **光沢**

手順

この手順に従って、表面特性を設定してください。

1	左選択ボタン (**メニュー**) を押します。
2	ナビゲーション パッドを使用して **測定** に移動します。
3	左選択ボタン (**選択**) を押します。これにより、**測定** サブメニューが表示されます。
4	**測定** メニューで、ナビゲーション パッドを使用して表面特性を選択します。
5	左選択ボタン (**選択**) を押して選択内容を確定し、メニューを終了します。

関連項目

より正確に計測するには、次の項を参照してください。

- 31 ページの「11.15 – 放射率の変更」のセクション
- 32 ページの「11.16 – 反射見かけ温度の変更」のセクション

11.15 放射率の変更

一般

非常に精密に計測したい場合は、表面特性を選択するのではなく、放射率を設定する必要があります。また、表面特性を選択するだけではなく、放射率と反射率が測定結果にどのような影響を与えるのかを理解する必要があります。

放射率とは、対象物で反射されるエネルギーではなく、オブジェクトから放射されるエネルギーを示す特性です。この値が低い場合、反射によるエネルギーが大部分を占めますが、値が高い場合は、反射によるエネルギーの比率は低くなります。

たとえば、よく磨いたステンレス鋼の放射率は 0.14 で、構造 PVC 床の一般的な放射率は 0.93 です。

手順

この手順に従って、放射率を設定してください。

1	左選択ボタン (**メニュー**) を押します。
2	ナビゲーション パッドを使用して **測定** に移動します。
3	左選択ボタン (**選択**) を押します。これにより、**測定** サブメニューが表示されます。
4	ナビゲーション パッドを使用して **アドバンスド** を選択します。
5	左選択ボタン (**選択**) を押します。これにより、**アドバンスド** サブメニューが表示されます。
6	ナビゲーション パッドを使用して、次のいずれかを行います。 ■ 放射率の値を設定する。 ■ 材料のリストから材料を選択する。
7	左選択ボタン (**選択**) を押して選択内容を確定し、メニューを終了します。

関連項目

放射率の詳細については、125 ページにある「20–熱測定技術」のセクションを参照してください。

11.16 反射見かけ温度の変更

一般

このパラメータは、物体が反射する放射を補正するために使用されます。放射率が低く、物体の温度が反射温度と比較的大きく異なっている場合、反射温度を正しく設定し、反射見かけ温度を正しく補正することが重要です。

手順

この手順に従って、反射見かけ温度を設定してください。

1	左選択ボタン (**メニュー**) を押します。
2	ナビゲーション パッドを使用して **測定** に移動します。
3	左選択ボタン (**選択**) を押します。これにより、**測定** サブメニューが表示されます。
4	ナビゲーション パッドを使用して **アドバンスド** を選択します。
5	左選択ボタン (**選択**) を押します。これにより、**アドバンスド** サブメニューが表示されます。
6	ナビゲーション パッドを使用して反射見かけ温度を設定します。
7	左選択ボタン (**選択**) を押して選択内容を確定し、メニューを終了します。

関連項目

反射見かけ温度の詳細については、125ページにある「20–熱測定技術」のセクションを参照してください。

11.17 カメラのリセット

一般

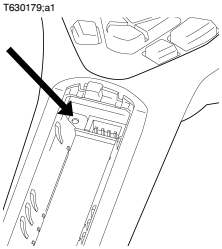
カメラをリセットする必要がある場合、バッテリー ケース内部にリセット ボタンがあります。

注

カメラのリセット操作では、金属やその他の導電ツールを使用しないでください。

手順

この手順に従って、カメラをリセットします。

1	バッテリー ケースのカバーを開きます。
2	リセット ボタンの場所は、次の図で確認できます。 
3	導電性のないツールを使用してリセットボタンを押してください。カメラはリセットされます。

11.18 カメラのシリアル番号を見つける

一般

サービス部門と連絡を取るときに、カメラのシリアル番号を聞かれる場合があります。

シリアル番号はバッテリー ケース内でバッテリーの裏にあるラベルに記載されています。

12 カメラのクリーニング

12.1 カメラの筐体、ケーブルおよびその他のアイテム

液体

以下のいずれかの液体を使用してください。

- 温水
- 弱清浄液

備品

柔らかい布

手順

この手順に従ってください。

1	液体に布を浸す。
2	布を絞って余分の水分を落とす。
3	布で拭いてきれいにする。

注意

カメラ、ケーブルおよびその他のアイテムに、溶剤や同様の液体を使用しないでください。損傷の原因になることがあります。

12.2 赤外線レンズ

液体

以下のいずれかの液体を使用してください。

- 96% イソプロピル アルコール。
- 30%以上のイソプロピルアルコールを使用している市販のレンズクリーニング液。

備品

脱脂綿

手順

この手順に従ってください。

1	液体に脱脂綿を浸す。
2	脱脂綿を絞って余分の水分を落とす。
3	一度のみレンズを拭き、脱脂綿を捨てる。

警告

液体を使用される前に、該当する MSDS (製品安全データシート) と容器に記載されている警告ラベルをお読みください。液体は取り扱いによっては危険な場合があります。

注意

- 赤外線レンズは注意してクリーニングしてください。レンズには、反射防止膜が施されています。
- 赤外線レンズをクリーニングする際は、力を入れ過ぎないでください。これにより反射防止膜が損傷を受けることがあります。

12.3 赤外線検出器

一般

赤外線検出器に僅かでも埃が付着していると、画像に大きな汚れが付いてしまう可能性があります。検出器から埃を取り除くには、以下の手順に従ってください。

注

- このセクションは、レンズを取り外すと赤外線検出器が露出されるカメラに対してのみ適用されます。
- 以下の手順を行っても埃を取り除くことができない場合、赤外線検出器を機械的にクリーニングする必要があります。この機械的クリーニングは、認証サービス パートナーによって実行される必要があります。

注意

以下の手順2で、ワークショップ内の空気圧エア回路の圧縮エアなどを使用しないでください。これらのエアには通常、空気動力工具を潤滑油をさすためのオイルミストが含まれています。

手順

この手順に従ってください。

1	カメラからレンズを外します。
2	圧縮エアで埃を吹き飛ばします。

13 技術的なデータ

注

FLIR Systems は、事前の通知なく、どの時点においてもモデル、部品や付属品、およびその他のアイテムを製造中止にしたり、仕様を変更したりする権限を有します。

13.1 カメラ データ

画像および光学的なデータ

視野 (Field of view、FOV)	カメラ モデルに依存： ■ 17° × 17° (FLIR i5 (2009 モデル)) ■ 25° × 25° (FLIR i7)
最小フォーカス距離	0.6 m
空間分解能 (IFOV)	3.71 mrad
温度感度/NETD	< 0.1°C
画像周波数	9 Hz
焦点	焦点なし

検出素子のデータ

検出素子の種類	焦点面アレイ (FPA) (非冷却マイクロボロメータ)
スペクトル領域	7.5–13 μm
IR 解像度	カメラ モデルに依存： ■ 80 × 80 ピクセル (FLIR i5 (2009 モデル)) ■ 120 × 120 ピクセル (FLIR i7)

画像表示

自動LCD	2.8 インチのカラー LCD
画像調整	画像の自動調整/ロック

測定

対象物の温度範囲	0°C ～ +250°C
精度	読み取りの場合 ±2°C または ±2%、周囲温度 10°C ～ 35°C の場合

測定分析

スポットメーター	センター スポット
エリア	カメラ モデルに依存： ■ 該当なし (FLIR i5 (2009 モデル)) ■ 最高/最低ありのボックス (FLIR i7)

アイソサーモ	カメラ モデルに依存： ■ 該当なし (FLIR i5 (2009 モデル)) ■ 上/下 (FLIR i7)
放射率補正	0.1 ～ 1.0 の間で変動
放射率表	事前定義された材料の放射率表
反射見かけ温度補正	反射温度の入力値に基づいて自動的に計算

セットアップ

色パレット	白黒、鉄、レインボウ
セットアップ コマンド	単位、言語、日付、時間形式の国にあわせた調整

画像数の保管

画像保管形式	miniSD カード
ファイル形式	標準 JPEG、14 ビットの測定データ込み

データ通信インターフェース

インターフェイス	USB Mini-B:PC とのデータ転送

電源システム

バッテリーの種類	充電可能リチウムイオン バッテリー
バッテリー電圧	3.6 V
バッテリー動作時間	周囲温度 +25°C、通常使用で約 5 時間
充電システム	バッテリーの充電はカメラ内部で行われます。
充電時間	3 時間で 90% まで充電
電源管理	自動シャットダウン
AC 駆動	AC アダプタ、90 ～ 260 VAC 入力、カメラへ 5 V 出力

環境的なデータ

動作温度範囲	0°C ～ +50°C
保存温度範囲	–40℃ ～ +70°C
湿度 (動作および保存)	相対湿度 60068-2-30/24 h 95%
EMC	■ EN 61000-6-2:2005 (不活性状態) ■ EN 61000-6-3:2007 (放射) ■ FCC 47 CFR 第 15 章 クラス B (放射)
保護	カメラの筐体およびレンズ:IP 43 (IEC 60529)
衝撃	25 g (IEC 60068-2-29)
振動	2 g (IEC 60068-2-6)

物理的なデータ

カメラの総重量(バッテリーを含む)	0.34 kg
カメラのサイズ (長さ × 幅 × 高さ)	223 × 79 × 83 mm
材料	ポリカーボネートおよびアクリロニトリル ブタジエン スチレン (PC-ABS) Thixomold マグネシウム 熱可塑性エラストマー (TPE)
カラー	青と灰色

認定

認定	UL、CSA、CE、PSE、および CCC

同梱品

パッケージの種類	ハード ケース
パッケージの内容	■ FLIR QuickReport CD ■ 入門ガイド（印刷物） ■ ユーザー マニュアル CD-ROM ■ キャリブレーション証明 ■ ハンドストラップ ■ バッテリー (カメラ内部) ■ 電源/充電器。EU、UK、US、オーストラリア対応プラグ付き ■ USB ケーブル ■ miniSD カード (512 MB)、SD カード アダプタ付き

13.2 追加データ

視野および距離 (FLIR i5)

10780503;a1

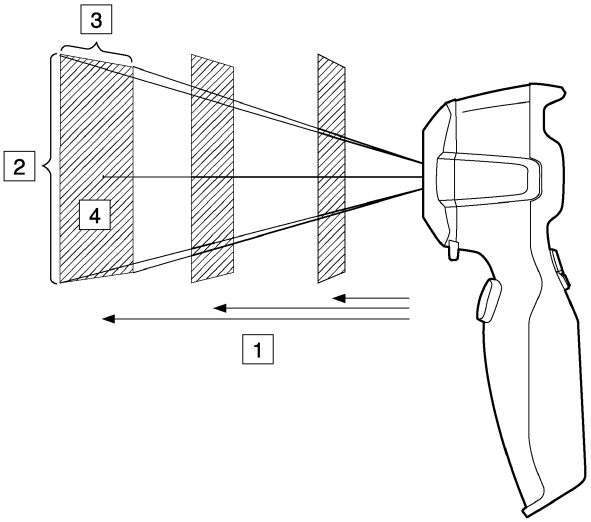


図 **13.1** 視野と距離の関係を示します。**1:** 対象までの距離。 **2:** VFOV = 垂直方向の視野。**3:** HFOV = 水平方向の視野、**4:** IFOV = 瞬間視野 (各検出器要素のサイズ)。

この表は、対象までの様々な距離に対応するレンズ視野の例です。注**:** この表は、最小フォーカス距離を考慮していません。

10781103;a1

Focal length: 6.76 mm									
Resolution: 80 x 80 pixels									
Field of view in degrees: 16.8									
D --->	**0.50**	**1.00**	**2.00**	**5.00**	**10.00**	**25.00**	**50.00**	**100.00**	**m**
HFOV	0.15	0.30	0.59	1.48	2.96	7.40	14.79	29.59	**m**
VFOV	0.15	0.30	0.59	1.48	2.96	7.40	14.79	29.59	**m**
IFOV	1.85	3.70	7.40	18.49	36.98	92.46	184.91	369.82	**mm**
D --->	**1.64**	**3.28**	**6.56**	**16.39**	**32.79**	**81.97**	**163.93**	**327.87**	**ft.**
HFOV	0.49	0.97	1.94	4.85	9.70	24.25	48.50	97.00	**ft.**
VFOV	0.49	0.97	1.94	4.85	9.70	24.25	48.50	97.00	**ft.**
IFOV	0.07	0.15	0.29	0.73	1.46	3.64	7.28	14.56	**in.**
Legend:									
D = Distance to target in meters & feet									
HFOV = Horizontal field of view in meters & feet									
VFOV = Vertical field of view in meters & feet									
IFOV = Instantaneous field of view (size of one detector element) in millimeters & inches									

視野および距離 (FLIR i7)

10780503;a1

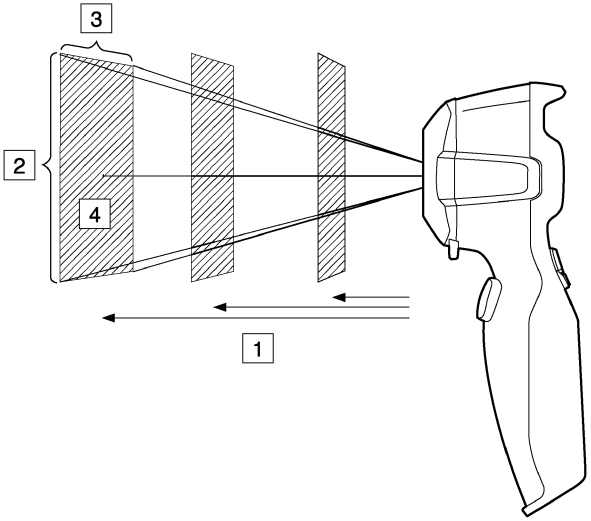


図 **13.2** 視野と距離の関係を示します。**1:** 対象までの距離。 **2:** VFOV = 垂直方向の視野。**3:** HFOV = 水平方向の視野、**4:** IFOV = 瞬間視野 (各検出器要素のサイズ)。

この表は、対象までの様々な距離に対応するレンズ視野の例です。注**:** この表は、最小フォーカス距離を考慮していません。

T638201;a1

Focal length: 6.76 mm									
Resolution: 120 x 120 pixels									
Field of view in degrees: 25.0									
D --->	**0.50**	**1.00**	**2.00**	**5.00**	**10.00**	**25.00**	**50.00**	**100.00**	**m**
HFOV	0.22	0.44	0.89	2.22	4.44	11.09	22.19	44.38	**m**
VFOV	0.22	0.44	0.89	2.22	4.44	11.09	22.19	44.38	**m**
IFOV	1.85	3.70	7.40	18.49	36.98	92.46	184.91	369.82	**mm**
D --->	**1.64**	**3.28**	**6.56**	**16.39**	**32.79**	**81.97**	**163.93**	**327.87**	**ft.**
HFOV	0.73	1.46	2.91	7.28	14.55	36.38	72.75	145.50	**ft.**
VFOV	0.73	1.46	2.91	7.28	14.55	36.38	72.75	145.50	**ft.**
IFOV	0.07	0.15	0.29	0.73	1.46	3.64	7.28	14.56	**in.**
Legend:									
D = Distance to target in meters & feet									
HFOV = Horizontal field of view in meters & feet									
VFOV = Vertical field of view in meters & feet									
IFOV = Instantaneous field of view (size of one detector element) in millimeters & inches									

13.3 付属品データ

USB ケーブル、標準 A ⇔ Mini B (2 m)

ケーブルの長さ	2.0 m
コネクタ	標準 USB-A と USB Mini-B

バッテリー

バッテリーの種類	充電可能リチウムイオン バッテリー
バッテリー電圧	3.6 V
バッテリーに関する注記	リチウム含有量: 約 0.7 g
充電システム	バッテリーの充電はカメラ内部で行われます。

電源/充電器。EU、UK、US、AU プラグ付き

AC 駆動	100～ 240 V、50/60 Hz 出力 5.0 VAC、1.2 A
電源	6 W
サイズ (長さ × 幅 × 高さ)	69.2 × 43.3 × 29.8 mm
ケーブルの長さ	1.8 m
パッケージの内容	■ 電源/充電器 ■ EU、UK、US、オーストラリア対応プラグ

メモリー カード、512 MB miniSD

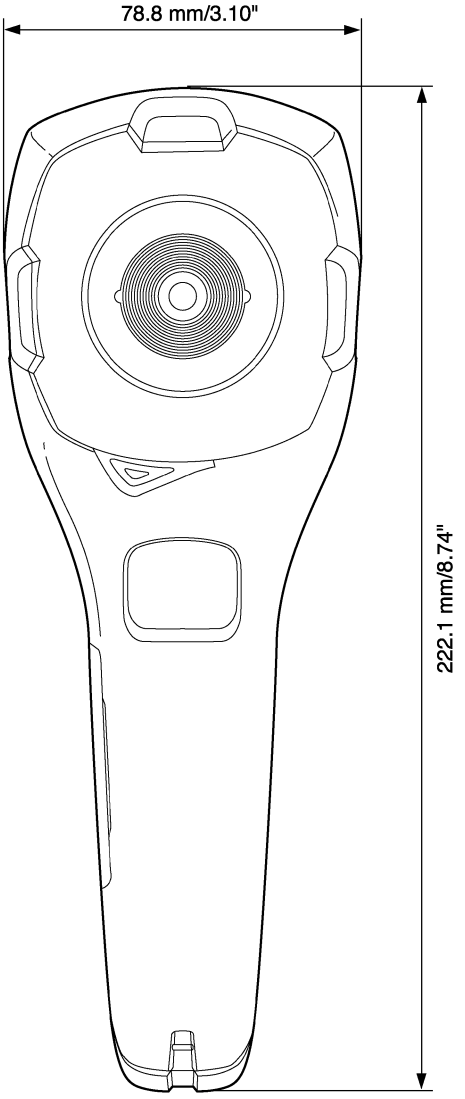
メモリー カードのサイズ	512 MB
サイズ (長さ × 幅 × 高さ)	21.5 × 20 × 1.4 mm
パッケージの内容	■ miniSD カード ■ miniSD Card から SD メモリー カードへのアダプタ

14 寸法

14.1 カメラ (正面)

図

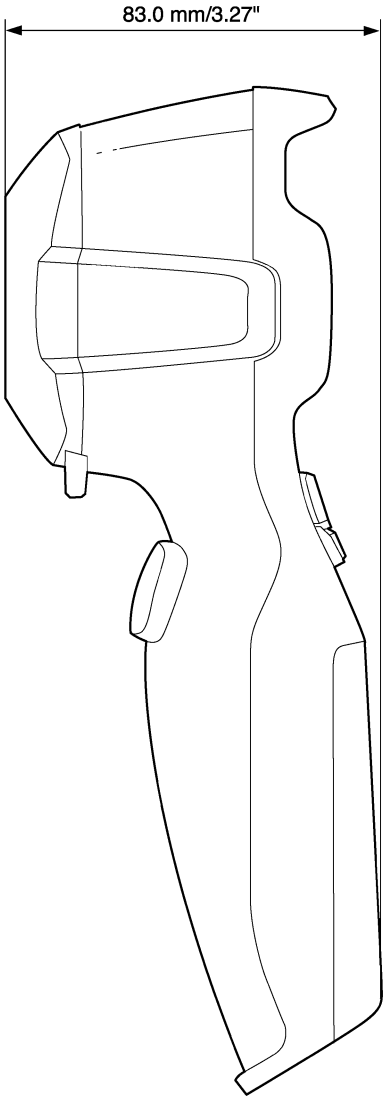
10780603;a1



14.2 カメラ (側面)

図

10780703;a1



15 適用例

15.1 湿気および水による損傷

一般

赤外線カメラを使用して、家の湿気および水による損傷を検出することができます。この理由としては、損傷を受けたエリアの熱伝導容量特性が異なること、および周囲の材料と熱の保有容量が異なることによります。

注

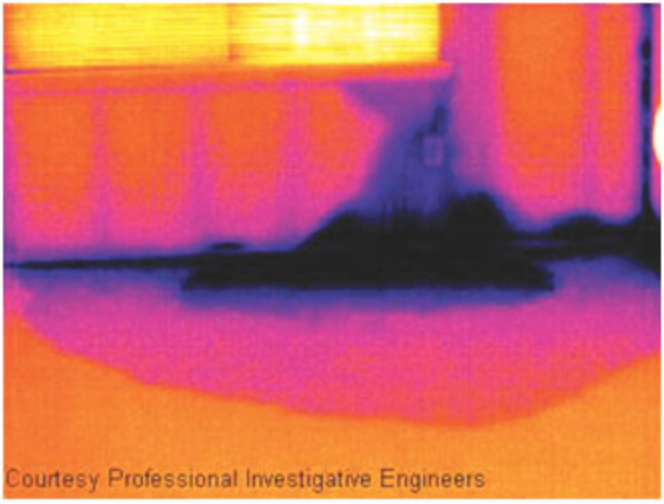
湿気および水による損傷の熱画像への表示方法には、多くの要素が関係しています。

例えば、材料および一日のうちの何時かによって、これらの部分の温度上昇や温度低下の程度が異なります。このため、湿気や水による損傷の検査を行うときに、別の方法も使用することが重要です。

図

以下の画像は、出窓の設置が正しくなかったために水が壁に浸透し、外壁が広範囲に水による損傷を受けている例を示しています。

10739503;a1



15.2 ソケットの不完全な接続

一般

ソケットの接続タイプにより、不適切に接続されたワイヤがローカル温度の上昇を招くことがあります。引き込みワイヤとソケットの接続ポイントの接触部分が減るために温度が上昇し、漏電による火事の原因になることがあります。

注

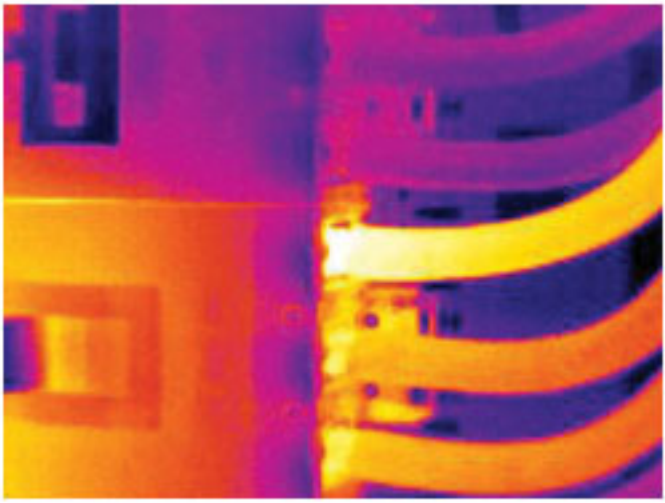
製造業者によって、ソケットの構造は大きく異なります。このため、ソケットの違いが原因で、赤外線画像で共通する典型的な外観になります。

ワイヤとソケットの不完全な接続や抵抗の相違によって、ローカル温度が上昇することもあります。

図

以下の画像は、ケーブルとソケットの不完全な接続が原因で、ローカル温度が上昇していることを示しています。

10739603;a1



15.3 酸化したソケット

一般

ソケット タイプおよび設置されたソケットの環境によって、ソケットの接続面に酸化が発生することがあります。ソケットに接続されると、これらの酸化によって抵抗が上昇し、赤外線画像で温度上昇して見えます。

注

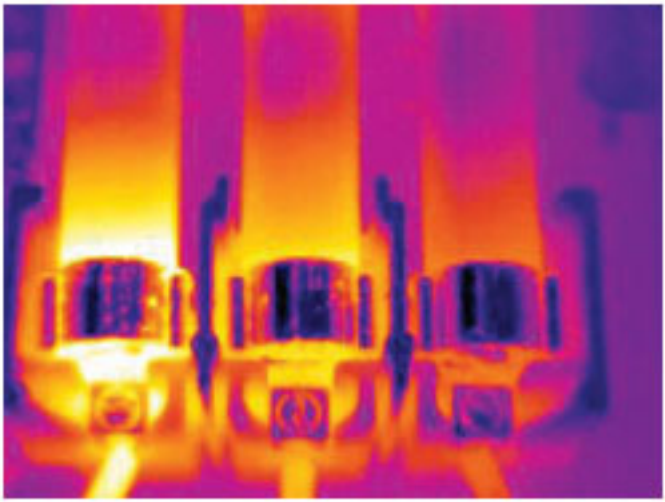
製造業者によって、ソケットの構造は大きく異なります。このため、ソケットの違いが原因で、赤外線画像で共通する典型的な外観になります。

ワイヤとソケットの不完全な接続や抵抗の相違によって、ローカル温度が上昇することもあります。

図

次の画像は、1 つのヒューズがヒューズ ホルダーの接続面の温度が上昇している一連のヒューズが表示されます。ヒューズ ホルダーの空間材料のため、温度上昇はここでは目には見えませんが、ヒューズのセラミック材料で見えます。

10739703;a1



15.4 断熱材の損傷

一般

断熱材損傷は、壁枠の空洞が確実に閉じられていないために時間の経過につれて、断熱材が損傷するために発生します。

断熱材損傷が発生している箇所は、正しく設置されている箇所に比べて熱伝導率特性が異なるため、また建物枠に空気が入り込んでいる部分が表示されるため、赤外線カメラで断熱材損傷を検出することができます。

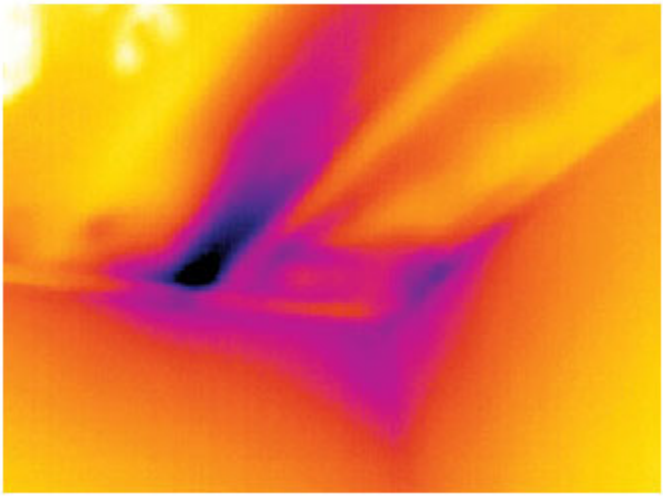
注

建物の検査をするとき、建物内と外の温度差が少なくとも 10°C になるようにしてください。びょう、水道管、コンクリート柱および同様の構成要素は、赤外線画像では断熱材損傷として表示されます。小さな誤差が自然に発生してしまうこともあります。

図

以下の画像では、平らな屋根で断熱が不足しています。断熱が不十分なため、空気が平らな屋根に入り込んでしまい、赤外線画像で典型的な外観になっています。

10739803;a1



15.5 隙間風

一般

隙間風は、すそ板、ドアや窓枠の周囲、および天井の飾りの上に発生することがあります。この種の隙間風は赤外線カメラで表示できます。冷たい風が周囲を冷却している状態で表示されます。

注

家の隙間風を調査するとき、室内が準常圧である必要があります。すべてのドア、窓、換気口を閉じ、台所のファンを赤外線画像の撮影前と撮影中に動作させておきます。

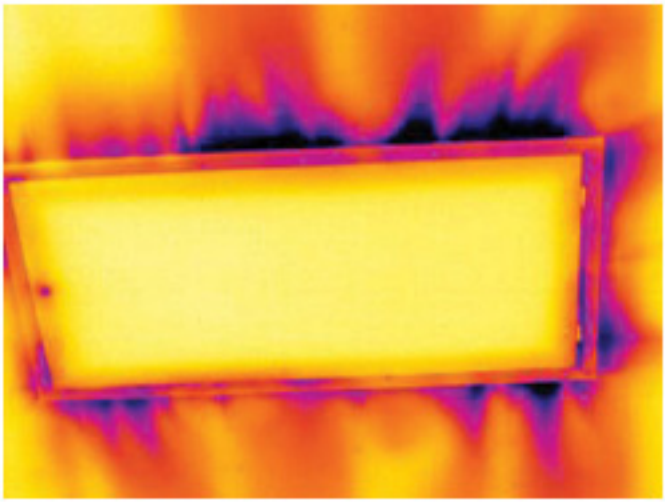
隙間風の赤外線画像は、典型的なストリーム パターンで表示されます。以下の画像では、このストリーム パターンをはっきり見ることができます。

床暖房回路からの熱のために、隙間風の効果が隠れてしまうことがあることに留意してください。

図

以下の画像では、取り付けの不完全な天井のハッチが、強い隙間風の原因になっていることを示しています。

10739903;a1



16 ビルディングサーモグラフィについて

16.1 免責条項

16.1.1 著作権情報

この章で使用されているいくつかの項や画像は、次の団体や企業が著作権を保有しています。

- FORMAS—The Swedish Research Council for Environment, Agricultural Sciences and Spatial Planning, Stockholm, Sweden
- ITC—Infrared Training Center, Boston, MA, United States
- Stockton Infrared Thermographic Services, Inc., Randleman, NC, United States
- Professional Investigative Engineers, Westminster, CO, United States
- United Kingdom Thermography Association (UKTA)

16.1.2 トレーニングおよび認定

ビルディング サーモグラフィー検査を行うには、十分のトレーニングと経験が必要です。また,国や地域の標準化団体の定める認定も必要です。この項では、サーモグラフィ検査の紹介のみを行っています。該当するトレーニングコースに参加されることを強くお勧めします。

赤外線検査のトレーニングについての詳細は、次の **Web** サイトを参照してください。

http://www.infraredtraining.com

16.1.3 国または地域の建築基準法

この章の建物構造の説明は、建設方法の点で国によって異なります。建築の詳細および建築手順の標準についての詳細は、国または地域の建築基準法を参照してください。

16.2 重要な注意事項

この項で説明するカメラの機能や特徴がすべてお使いのカメラ構成でサポートされているわけではありません。

16.3 特有な分野の調査

16.3.1 ガイドライン

後の項で説明するように、ビルディング サーモグラフィ検査を行うときに留意する必要のある一般的なガイドラインが多くあります。この項では、それらのガイドラインの概要を説明します。

16.3.1.1 一般的なガイドライン

- ほとんどの建築材料の放射率は 0.85 から 0.95 になります。カメラで放射率値を 0.90 に設定して検査を開始するのが良いとされています。
- 赤外線検査のみを行って、その後の対応を決定することはしないでください。構造図、水分計、湿度および温度データログ、トレーサー ガス検査など、他の方法を使って疑わしい点や結果を必ず確かめるようにしてください。
- レベルとスパンを変更して、熱画像の熱調整をして詳細情報を明確にします。下の図は、熱調整がされていない熱画像と熱調整がされた熱画像の違いを示しています。

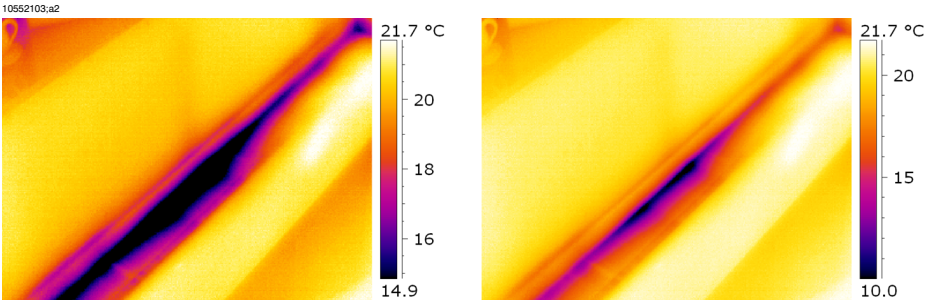


図 **16.1** 左: 熱調整がされていない熱画像、右: 熱調整がされた熱画像 (レベルおよびスパンの変更後)

16.3.1.2 湿度検出、かび検出、水害検出のガイドライン

- 表面に熱 (たとえば太陽熱) を加えると、湿気や水による損傷に関係する建物の欠陥のみが検出されます。
- 水分が存在すると、熱伝導率および建築材料の熱質量が変化します。また、気化冷却によって、建築材料の表面温度も変化することがあります。熱伝導率とは材料が熱を伝える能力のことで、熱質量は材料が熱を蓄える能力のことです。
- 赤外線検査ではかびの存在を直接検出しません。その代わり、かびが繁殖する可能性のある、またはかびがすでに繁殖している箇所の湿度を検出できます。かびの繁殖には、温度が +4°C ～ +38°C で、周囲に栄養素と湿気が必要です。湿度が 50% 以上あれば、かびが繁殖するのに十分な湿気があることになります。

10556003;a1

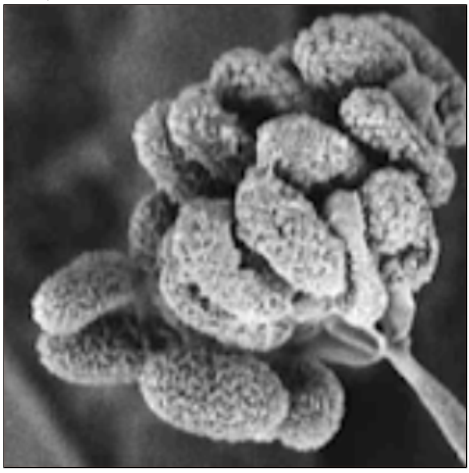


図 **16.2** かびの胞子の顕微鏡での見え方

16.3.1.3 換気および断熱材の欠損の検出についてのガイドライン

- カメラ計測の精度を高めるため、温度を計測し、その値をカメラに入力してください。
- 建物構造の内側と外側で圧力を変更することをお勧めします。このようにすると、熱画像分析に役立ちますし、通常検出することのできない欠陥を表示することができます。10 から 50 Pa の間の陰圧を使用することをお勧めしますが、陰圧よりも低い圧力で検査することもできます。このようにするには、窓、ドアおよび排気ダクトを閉じてから、キッチンの換気扇を 5–10 Pa の陰圧になるまでしばらく回します (この方法は住宅にのみ適用できます)。
- 建物構造の内側と外側の温度差が10–15°C であることが理想的です。温度差がさらに小さくても検査をすることができますが、熱画像分析が難しくなります。
- 内側で検査を行う建物の一部部分 (例えば、建物の正面) に直射日光が当たることがないようにしてください。正面の温度が日光によって上昇して室内との温度差がなくなってしまい、建物構造の欠陥が分からなくなってしまうことがあります。この現象は、夜の気温が低く (±0 °C) 昼間の気温が高い (+14 °C) 春の時期が特に危険です。

16.3.2 湿度検出について

建物の湿気には、次のようないくつかの原因があります。

- 外部の漏れ。洪水、消火栓などからの漏水
- 内部の漏れ。上水道管、下水道管などの漏水
- 凝結。空気中の湿気が、冷たい表面で凝結して液体の水になる
- 建物の湿気。建物の建設が完成する前に、建築材料に含まれていた湿気
- 消火による水が残っている

破壊せずに検出できる手法として、赤外線カメラを使用することには他の手法と比較して多くの利点があります (いくつかの不利な点もあります)。

利点	不利な点
■ 素早く実行できる ■ 検査に立ち入りが必要ない ■ 居住者の移動が必要ない ■ 結果が視覚的に表現される ■ 問題のある場所と湿気の移動経路を見分けることができる	■ 表面温度の差異を検出するのみで、壁の中を検査することはできない ■ かびや建物損層などの表面下の損傷を検出できない

16.3.3 湿度検出 (1): 商業用の低勾配の屋根

16.3.3.1 一般情報

商業用の低勾配の屋根は、倉庫、工場、機械店などの工業用建物としては最も一般的な屋根の形式です。急勾配の屋根に比べて、材料費や建築費が安いことが最も大きな利点です。ただし、設計上の問題で、ほとんどの急勾配の屋根とは違い雪や氷が屋根から落ちないため、屋根の構造物および雪、氷や雨水などの総重量を支えられるように堅牢な構造にする必要があります。

屋根のサーモグラフィ検査を行うとき、商業用の低勾配屋根の構造についての基本的な理解が必要ですが、専門的な知識は必要ではありません。商業用の低勾配屋根について、材料や設計に関する多数の異なる設計原則がありますが、赤外線検査官がすべてを知ることは不可能です。特定の屋根に関する追加情報が必要な場合、通常、建物の設計者や建築者が該当するデータを提供することができます。

屋根の損傷の一般的な原因を次の表に示します (『SPIE Thermosense Proceedings Vol. 371 (1982)』 177 ページ)。

原因	%
技量の不足	47.6
ルーフ トラフィック	2.6
不十分な設計	16.7
閉じ込められた湿気	7.8
材料	8.0
寿命および風化	8.4

漏れの可能性がある箇所には次のような場所があります。

- フラッシング
- 下水設備

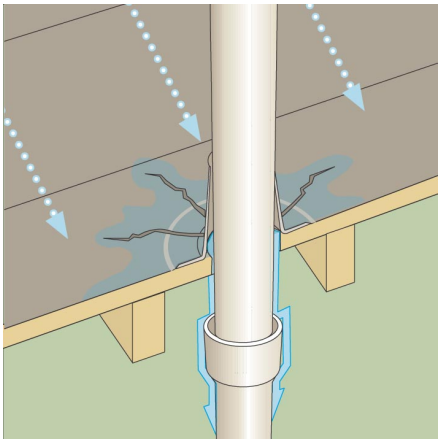
- 接続部
- 継ぎ目
- 塗装表面の気泡

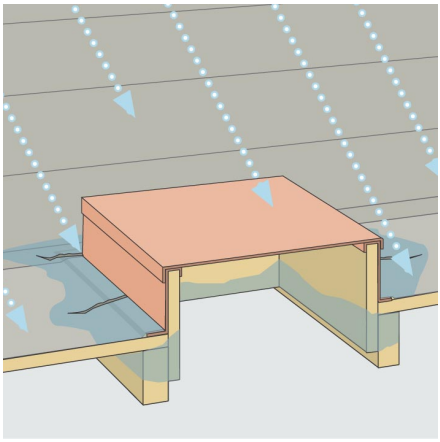
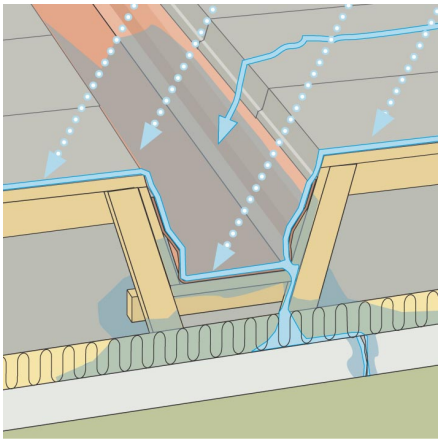
16.3.3.2 安全上の注意

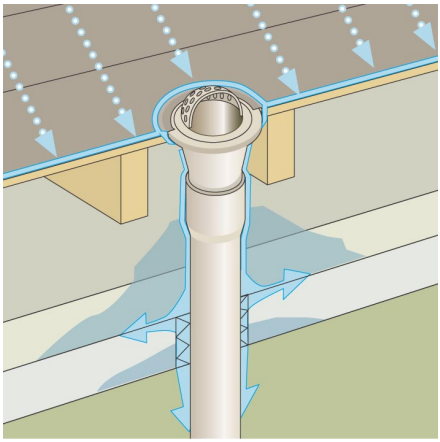
- 2 人以上 (できれば 3 人以上) が屋根に上るようにしてください。
- 屋根に上る前に、屋根の下側の構造的な信頼性を確認してください。
- ビチューメンや砂利の屋根などによく見られる気泡は、踏まないでください。
- 緊急時のため、携帯電話や無線を使用できるようにしてください。
- 夜に屋根の検査を行う前には、警察および設備の警備員に通知をしてください。

16.3.3.3 商業建物構造

この項では、低勾配の商業用屋根での湿気の問題に関する典型的な例をいくつか取り上げます。

設計図	コメント
10553603;a2 	導管や排気ダクトの周辺で屋根表面が適切にふさがれていないため、導管や排気管の周囲からの漏れの原因になります。

設計図	コメント
10553703;a2 	屋根のハッチの周囲の屋根表面が適切にふさがれていません。
10553803;a2 	排水溝の設置場所が高すぎます。また、勾配が低すぎます。降雨の後、雨水が排水溝に残ってしまいます。これは排水溝の周囲からの漏れの原因になります。

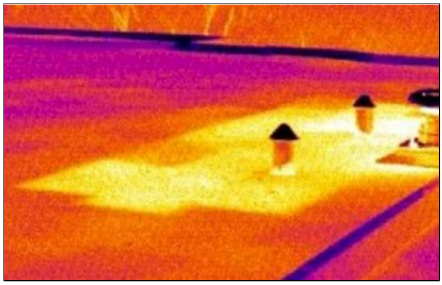
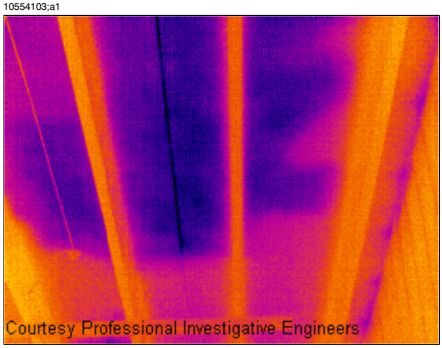
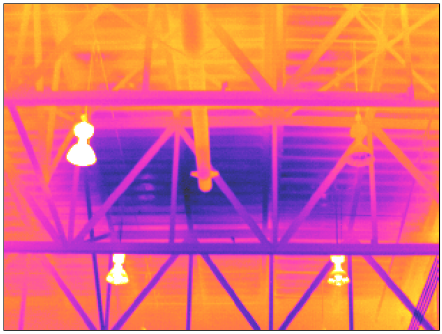
設計図	コメント
10553903;a2 	屋根表面と屋根の排気口の間が適切にふさがれていないため、屋根の排気口周囲からの漏れの原因になります。

16.3.3.4 コメント付きの熱画像

屋根の表面に砂利やバラストがある屋根そのものが乾いており、太陽熱が屋根全体を暖めている場合には、屋根表面の下側の湿った断熱材をどのように検出するのでしょうか？晴れた夜の早い時間には、放熱によって屋根の温度が下がります。湿った断熱材は、熱容量が高いために乾いた断熱材よりも温度が下がりにくくなります。これにより温度の違いを検出することができます (以下の写真を参照してください)。この方法は、屋根に吸湿性の断熱材が使用されている場合に特に適しています。これらの断熱材には、木質繊維、ファイバーグラスやパーライト (熱性質は湿気と密接な相関関係がある) が含まれます。

吸湿性のない断熱材が使用されている屋根 (主に多くの業務用設備で使用される) を赤外線検査する場合は、損傷を検出するのは難しくなります。

この項では、低勾配の商業用屋根での湿気の問題に関する典型的な熱画像をいくつか取り上げます。

熱画像	コメント
10554003;a1 	夜間の屋根の湿気検査です。 湿気の影響を受けている建築材料は熱容量が高いため、温度が他の健全な部分よりも下がりにくくなります。
10554103;a1 	水害を受けている屋根構成材と断熱材は、建物のコンクリート ティー デッキ上にある組み込み屋根の下部からの赤外線スキャンによって見分けられます。 影響を受けている部分は、伝導性や熱容量効果のため、周囲の健全な部分よりも温度が低くなります。
10554203;a1 	昼間の組み込み低勾配商業用屋根の検査。 影響を受けている部分は、伝導性や熱容量効果のため、周囲の乾いた部分よりも温度が低くなります。

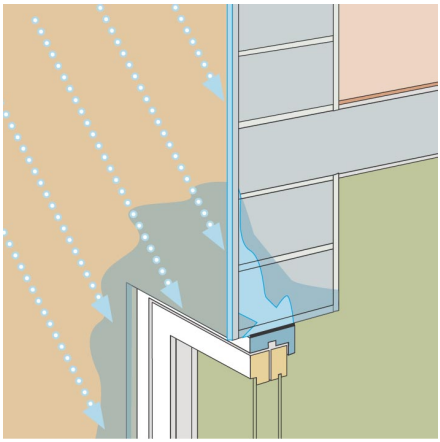
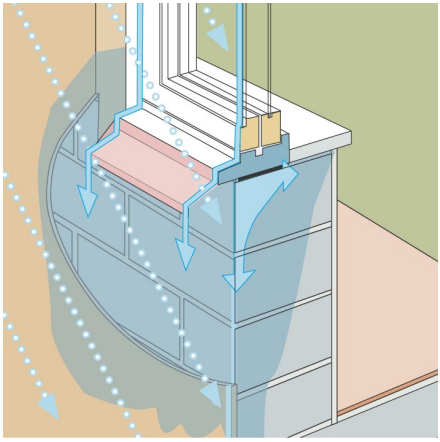
16.3.4 湿度検出 (2): 商業用および住宅用の正面

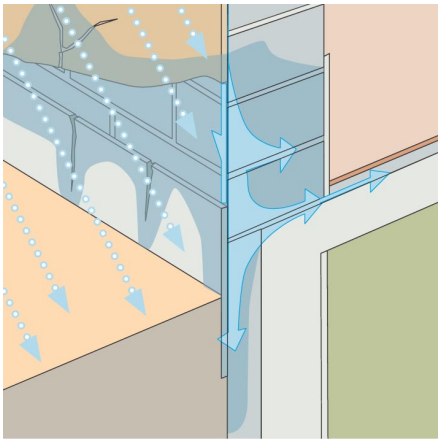
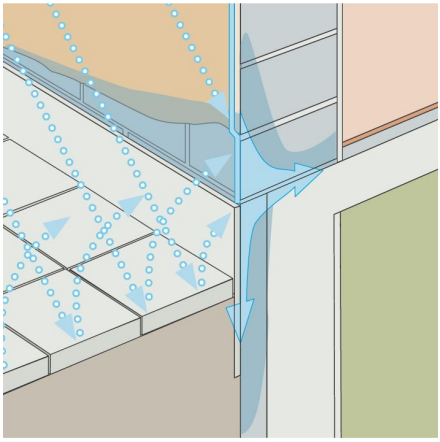
16.3.4.1 一般情報

サーモグラフィは、商業用および住宅用正面の湿気浸透評価に非常に優れていることが証明されています。湿気移行経路の具体的なイラストを描ことができるので、湿気メータを使用して場所を特定するよりも優れています。また、大規模な立ち入り試験切断よりも費用効率が高くなります。

16.3.4.2 商業建物構造

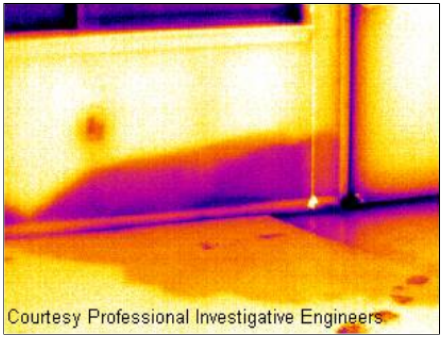
この項では、商業用および住居用建物の正面での湿気の問題に関する典型的な例をいくつか取り上げます。

設計図	コメント
10554303;a2 	横目地が不十分だったために、大雨が中に入ってきてしまっています。窓の上の目地の湿気が上昇しています。
10554403;a2 	大雨が斜めに窓に当たっています。雨粒の大部分は窓の雨押さえに沿って落ちますが、いくらかが目地 (しっくいと雨押さえの間の継ぎ目) に入ってしまいます。

設計図	コメント
10554503;a2 	雨が正面に斜めにあたり、割れ目からしっくいに入ってきてしまっています。雨水がしっくいの中に入ってしまうと、霜による侵食の原因になります。
10554603;a2 	雨が正面に当たり、吸収によってしっくいや目地に入ってしまいます。これは、霜による侵食の原因になります。

16.3.4.3 コメント付きの熱画像

この項では、商業用および住居用建物の正面での湿気の問題に関する典型的な例をいくつか取り上げます。

熱画像	コメント
10554703;a1 	石板材と窓枠との目張りが不十分なため、および雨押さえがないため、湿気が壁の空洞や室内に浸透してしまいます。
10554803;a1  	湿気が渇いた壁に毛細現象によって浸透し、ふさがれていない隙間から内装の仕上げ材に、およびアパートのヴァイナル サイディングの正面から傾斜のない床に入り込みます。

16.3.5 湿度検出 (3): デッキおよびバルコニー

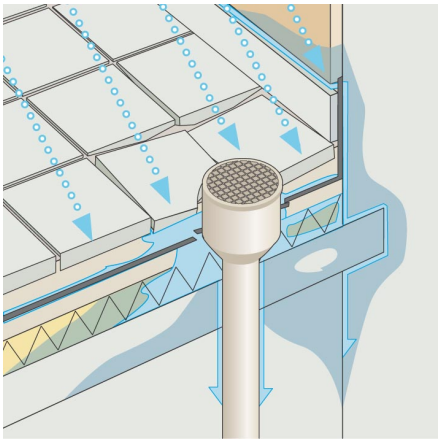
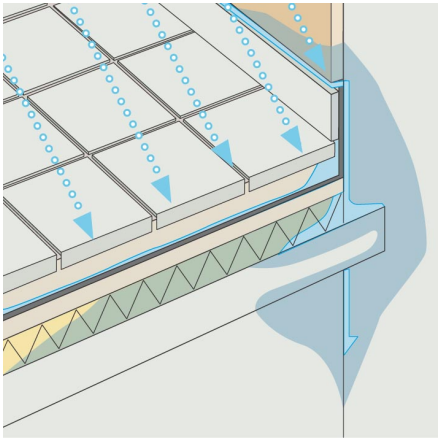
16.3.5.1 一般情報

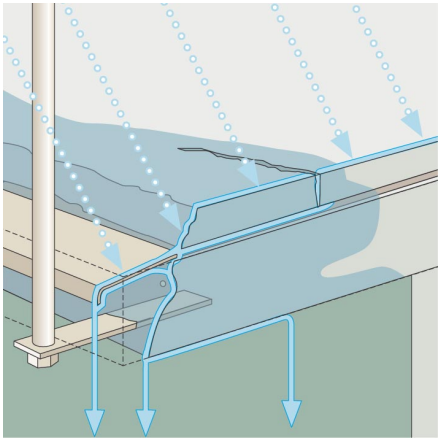
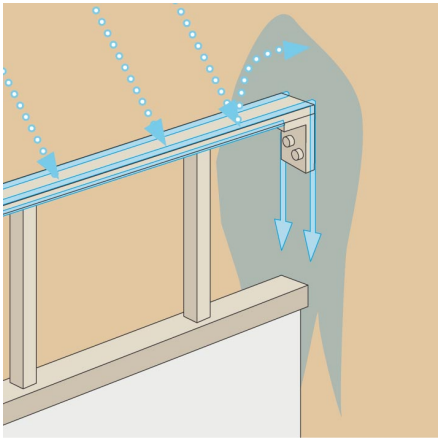
デザイン、材料や構造は異なりますが、デッキ (プラザ デッキ、中庭のデッキなど) には、低勾配商業用屋根と同じ湿気および水漏れの問題があります。不十分な仕上げ、保護膜の不良、不十分な排水溝などは、次のような建物の被害の主な原因になります。

バルコニー。サイズは小さいですが、設計時に材料の選択や技能について、建物の他の部分と同じように注意が必要です。バルコニーは通常片側のみで支えられるため、湿気が原因で支柱やコンクリートの補強部分が腐食すると非常に危険です。

16.3.5.2 商業建物構造

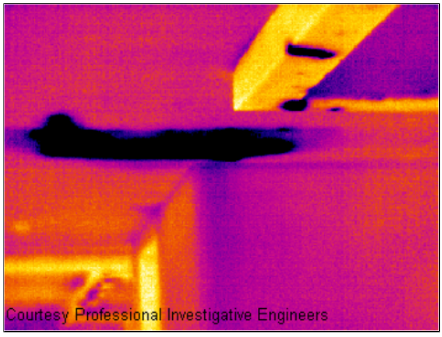
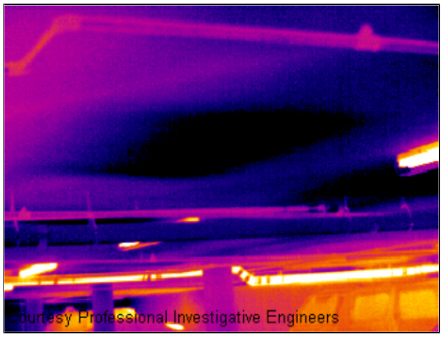
この項では、デッキおよびバルコニーでの湿気の問題に関する典型的な例をいくつか取り上げます。

設計図	コメント
10555203;a2 	屋根の排気口周囲の舗装や保護膜が不十分になっています。これは、降雨時の水漏れの原因になります。
10555103;a2 	デッキと壁の接続部に雨押さえがありません。これは、雨水がコンクリートと断熱材に入り込む原因になります。

設計図	コメント
10555003;a2 	雨水のための前だれの大きさが適切でないため、コンクリートに水が入り込んでいます。これは、コンクリートの風化と補強部分の腐食の原因になります。 安全性に関するリスク
10554903;a2 	手すりの壁への接続部から、しっくいと目地の下地に水が入り込んでいます。 安全性に関するリスク

16.3.5.3 コメント付きの熱画像

この項では、デッキおよびバルコニーでの湿気の問題に関する典型的な熱画像をいくつか取り上げます。

熱画像	コメント
10555303;a1  	バルコニーと壁の接続部の排水溝が不十分で、排水設備の周囲が欠落しています。このため、湿気がロフト部分の外部バルコニーの通路を支える木の枠に入り込んでしまいます。
10555403;a1  	排水板の接続部分や下の階の駐車場デッキの構成部とをつなぐ部分が欠落しています。このため、水がコンクリート デッキと表面を覆う板の間に溜まってしまっています。

16.3.6 湿度検出 (4): 配管系統の損傷および水漏れ

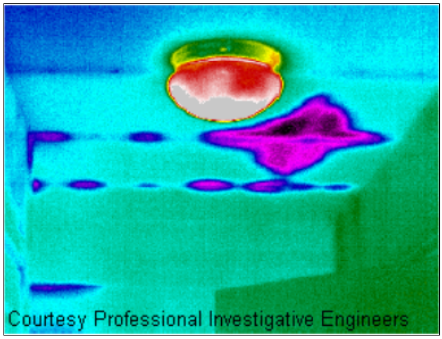
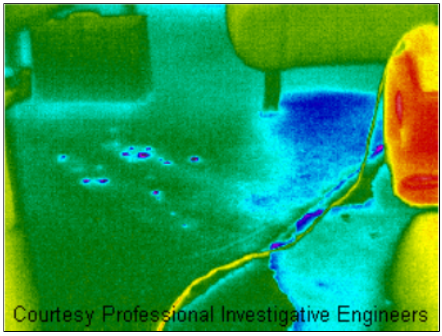
16.3.6.1 一般情報

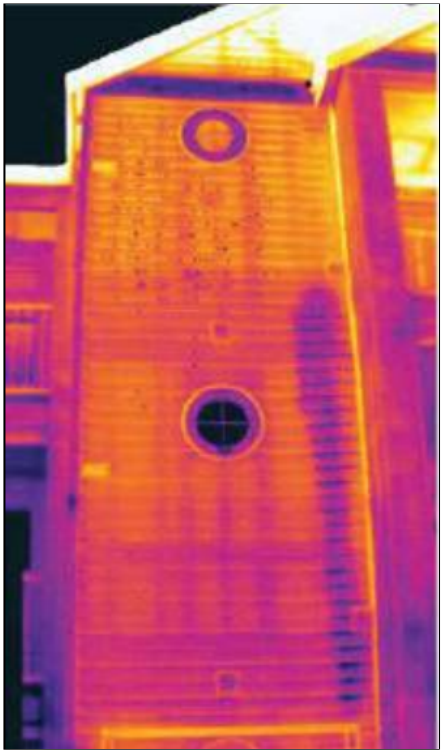
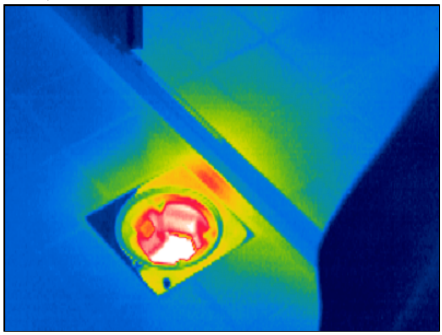
配管系統からの水漏れは、建物の広い領域を損傷する原因になります。小さな水漏れは見つけ難いですが、長い時間を経て建物の壁や基礎に達してしまい、建物の修理が困難になってしまうことがあります。

配管の損傷や水漏れが思い当たったときに早い段階でビルディング サーモグラフィを使用すれば、次の漏れが、材料費と労力を大幅に抑えることができます。

16.3.6.2 コメント付きの熱画像

この項では、配管系統の損傷および水漏れに関する典型的な熱画像をいくつか取り上げます。

熱画像	コメント
10555503;a1  	配管の破裂が発生した独身者の家の内部にある、天井の鉄鋼ジョイントに沿って湿気が移動します。
10555603;a1  	配管の水漏れは、契約者が初めて見つけたときよりずっと以前に、カーペットを切って除湿機を設置した修理期間中に検出されていました。

熱画像	コメント
10555703;a1 	3 階建てのヴァイナル サイディング アパートの熱画像では、3階の洗濯機からの大きな水漏れ経路が、完全に壁の中に隠れていますがはっきり示されています。
10555803;a1 	部屋の配管とタイルの間の目張りが十分でないため、水漏れが発生しています。

16.3.7 換気

16.3.7.1 一般情報

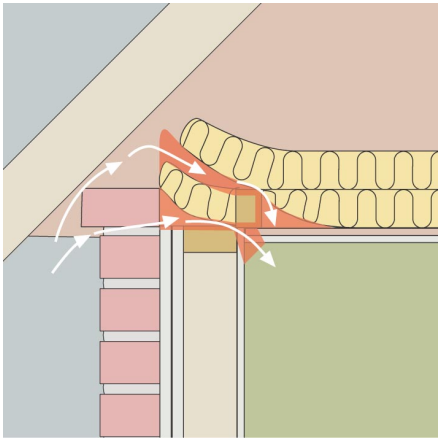
建物の風圧および温度は、室内と室外で異なるため、ほとんどの建物には、建物から使用済みの空気を排出するための排気管設備が使用されています。2–5 Paの陰圧が一般的です。陰圧によって冷たい風が建物内に入ると (建物の断熱材や目張りの欠陥のため)、「換気」と呼ばれる効果が発生します。換気はジョイントや建物のすき間で発生することがあります。

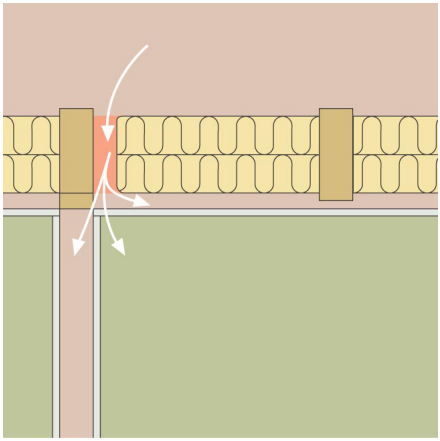
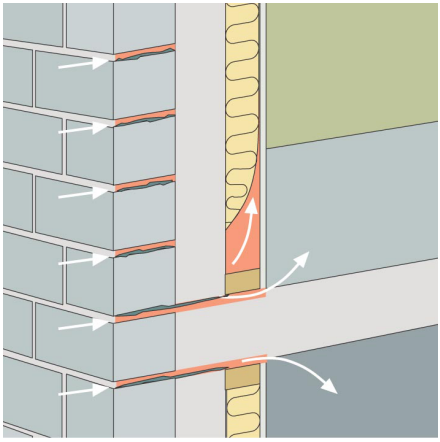
換気によって冷たい風が部屋などに入り込むため、室内の気温低下の原因になります。住民は、通常風速が秒速 0.15 m (0.49 ft/s) くらいになると体感するようになりますが、通常の計測機器ではこの強さの風を検出するのは容易ではありません。

熱画像では、換気の典型的な光線パターンを見分けることができます。換気は、建物の出口、例えば幅木の背後で発生します。また、通常、換気が発生している箇所は、単に断熱材の損傷が発生している箇所よりも温度が低くなります。これは、風の流れの体感温度によります。

16.3.7.2 商業建物構造

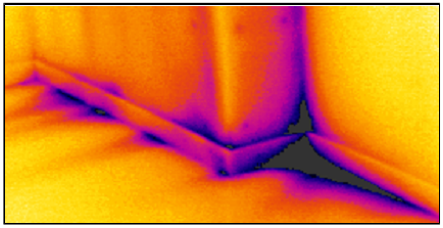
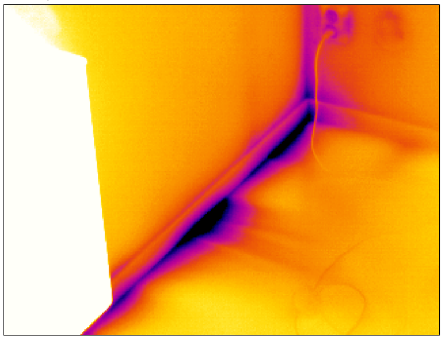
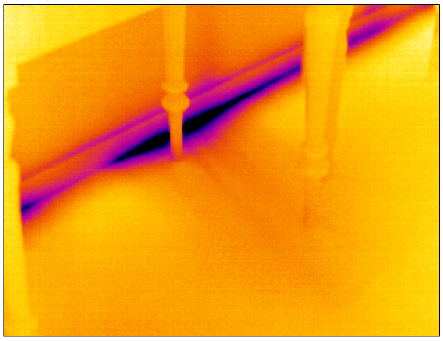
この項では、換気が発生し得る具体的な建物の典型的な例を説明します。

設計図	コメント
10552503;a2 	レンガ壁の家の雨垂れ部分で、ファイバーグラスの断熱材を不適切に設置したために断熱材の損傷が発生しています。 コーニスの背後から風が部屋に浸透してきています。

設計図	コメント
10552303;a2 	レンガ壁の家の雨垂れ部分で、ファイバーグラスの断熱材を不適切に設置したために断熱材の損傷が発生しています。 コーニスの背後から風が部屋に浸透してきています。
10552603;a2 	コンクリートの屋根裏部屋で、レンガ壁の正面の亀裂のため換気が発生しています。 コーニスの背後から風が部屋に浸透してきています。

16.3.7.3 コメント付きの熱画像

この項では、換気が発生し得る具体的な建物の典型的な例を説明します。

熱画像	コメント
10552703;a1 	幅木の後ろで換気が発生しています。典型的な光線パターンに注目してください。
10552803;a1 	幅木の後ろで換気が発生しています。典型的な光線パターンに注目してください。 左側の白い部分はラジエターです。
10552903;a1 	幅木の後ろで換気が発生しています。典型的な光線パターンに注目してください。

16.3.8 断熱材の損傷

16.3.8.1 一般情報

断熱材の損傷が常に換気の原因になるわけではありません。ファイバーグラスの断熱材の設置が不適切な場合、建物内でエア ポケットが発生することがあります。エア ポケットの部分の熱伝導性は、断熱材が適切に設置されている場所と異なるため、エア ポケットはビルディング サーモグラフィ検査で検出されます。

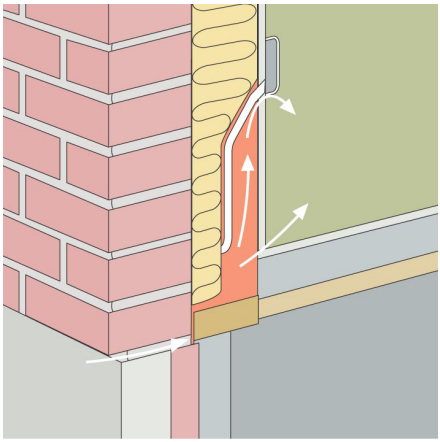
経験から言って、通常、断熱材の損傷が発生している箇所は、単に換気が発生している箇所よりも温度が高くなります。

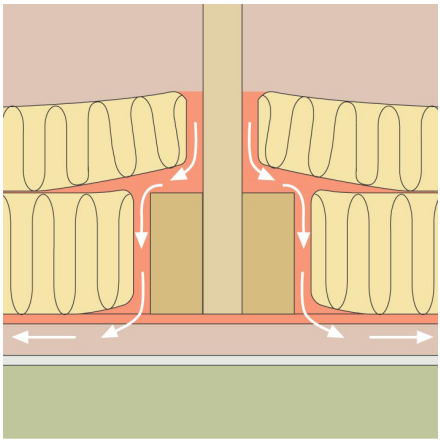
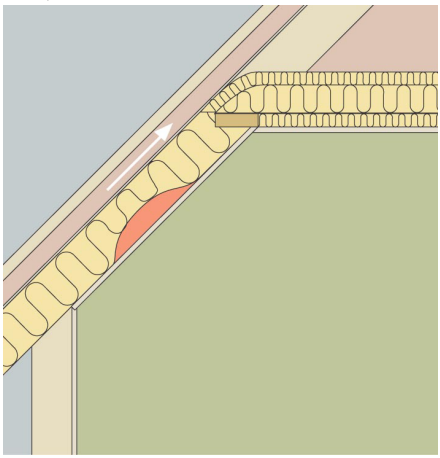
断熱材の損傷の検出のためにビルディング サーモグラフィ検査を行うとき、熱画像中では、以下に示すような建物部分は断熱材の損傷が発生しているように見えます。

- 木製の梁、飾りびょう、垂木、桁
- 鋼鉄の梁、鋼鉄の桁
- 壁面、屋根、床面内の水道管
- 壁面、屋根、床面内の電気設備 (中継や配管など)
- 木造骨組みの壁面内のコンクリート柱
- 排気ダクトおよび空気ダクト

16.3.8.2 商業建物構造

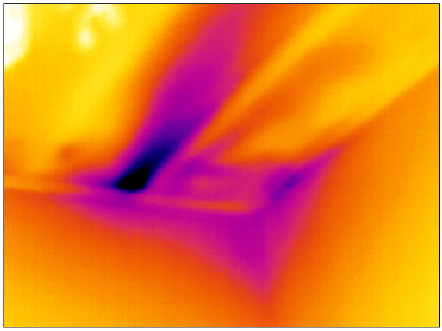
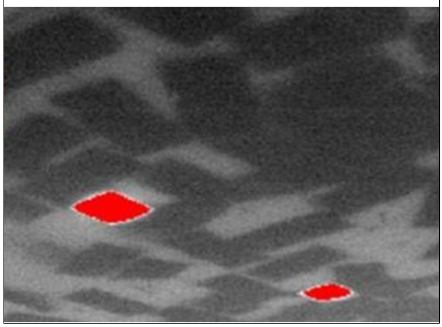
このセクションには、断熱不良のある建物構造の詳細に関するいくつかの典型的な例が含まれています。

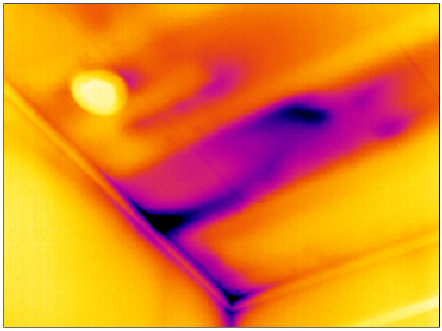
設計図	コメント
10553203;a2 	電気設備の電源周囲の不適切な断熱材施工が原因となっている断熱不良 (および換気) です。 この種の断熱不良は、熱画像上で暗い領域として示されます。

設計図	コメント
10553103;a2 	屋根裏部屋の床の桁周囲における不適切な断熱材施工が原因となっている断熱不良です。冷たい空気が建物に入り込み、天井の内側を冷却します。 この種の断熱不良は、熱画像上で暗い領域として示されます。
10553003;a2 	断熱材の不適切な施工のために、傾斜のある天井の外側に空洞部分ができていることが原因となっている断熱不良です。 この種の断熱不良は、熱画像上で暗い領域として示されます。

16.3.8.3 コメント付きの熱画像

このセクションには、断熱不良のいくつかの典型的な熱画像が含まれています。

熱画像	コメント
10553303;a1 	断熱不良が中間床で発生しています。 この損傷は、断熱材が取り付けられていないか、断熱材が不適切に施工されていること (空洞) が原因の可能性があります。
10553403;a1 	つり天井でファイバーグラスの断熱材が不適切に施工されています。

熱画像	コメント
10553503;a1 	断熱不良が中間床で発生しています。 この損傷は、断熱材が取り付けられていないか、断熱材が不適切に施工されていること (空洞) が原因の可能性があります。

16.4 建築科学の理論

16.4.1 一般情報

最近、エネルギー効率の良い建物の需要が著しく増えてきています。エネルギーの分野の進歩 (および快適な室内環境の需要) により、建物の断熱性、気密性、および熱や排気設備の効率がこれまでになく重視されるようになっています。

断熱材の損傷が高断熱で気密性の高い建物で発生すると、エネルギー損失は大きくなります。建物の断熱材と気密性の損傷は、暖房費と保守費が増大するだけでなく、室内環境も悪くしてしまいます。

建物の断熱の度合いは、ほとんどの場合、建物各部の熱抵抗の公式や熱伝達係数 (U 値) の計算によって求められます。ただし、特殊な熱抵抗値は、建物のエネルギー損失の正確な値にならないことがあります。ジョイントや接続部からの空気の漏れ(気密ではない)、および十分の断熱がされていないと、通常、設計値や期待値から大きく外れてしまいます。

実験室でのテストは、各材料や建築要素が必要な特性をもっていることを確証するために行われます。適用されている断熱材と気密性の機能が正常であることを確証するために、完成した建物で検査と検証を行う必要があります。

建築工学の応用として、サーモグラフィは建物の表面温度の違いの研究に使用されています。建物の熱抵抗の違いは、特定の状況下で建物の表面温度の違いをもたらします。建物の冷たい (または温かい) 風の漏れは、表面温度にも影響することがあります。このため、断熱材の損傷、熱の逃げ道および建物を覆っている構造物からの風の漏れは、実施された調査によって検出されます。

サーモグラフィ自体は、熱抵抗や建物の気密性を直接表示しません。熱抵抗や気密性の定量化が必要な場所では、測定をさらに行う必要があります。建物のサーモグラフィ分析は、建物全体での気温、気圧条件などの特定の条件に依存しています。

熱画像の詳細、形状、コントラストは、それらのパラメータを少し変更するだけで異なります。そのため、熱画像を徹底的に分析し、解釈するには、材料や建築特性、気候の影響や最低限の測定技術についての知識を十分に持っておくことが非常に重要です。測定結果の評価をするには、測定者が必要なスキルと経験を持っていることが必要です。また、国や地域の標準化団体の定める認定も必要です。

16.4.2 テストおよび検査の影響

完成した建物で断熱と気密性がどのように機能するかを知るのは容易ではありません。結果に大きく影響する特定の要因 (異なる構成要素や建築要素を組み合わせることによって発生する) があります。あらかじめ運送、操作、現場で

の保管や作業方法を算出することはできません。適用されている断熱材と気密性の機能が正常であることを確証するために、完成した建物で検査と検証を行う必要があります。

最近の断熱技術によって、熱理論の要件が減ってきています。ただし、これは重要な場所 (たとえばジョイントでの漏れや断熱材の不適切な設置) での小さな損傷が、熱と快適性に大きく影響することを意味しています。たとえば、サーモグラフィで検証テストを行うことにより、設計者、請負業者、住宅開発業者、資産管理者、および使用者に対して測定値を確証することができます。

- 設計者にとって重要なのは、異なる種類の構造の機能について調査することであるため、設計者は、さまざまな作業方法と機能的な要件について考慮することができます。設計者は、異なる材料や材料の組合せが実際にどのように機能するかを知る必要もあります。効率的なテストと検査 (およびフィードバック) を行って、この分野で必要な進歩を続けていくことが大切です。
- 請負業者は、検査および検証に強い関心を持っており、当局によって発行されたり、契約書類に記載されたりしている規制に対応した期待される機能が建物で保持されるように保証します。請負業者は建築の早い段階で、系統的な不具合を防ぐために必要な変更について知る必要があります。そのため、建築期間中に、大規模プロジェクトで最初に完成したアパートに対して検査を行う必要があります。同様の検査は、建設が継続するのに伴って、引き続き行う必要があります。この方法により、系統的な不具合、不必要なコストや将来の問題などを防ぐことができます。この検査は、製造業者および使用者にとって益があります。
- 住宅開発業者や資産管理者にとって、建設完了後の検査が重要です。この検査には、暖房、保守 (湿気や湿気浸透による損傷) および居住者の快適さ (たとえば、居住範囲での冷却表面や空気の動き) などが含まれます。
- 使用者にとって、完成した建物が断熱や気密性などに関係する合意された要件を満たしていることが重要です。個人にとって、家の購入には多額の出費が関係しています。そのため、購入者は建設の起こり得る不具合が財政面や健康面での深刻な問題をもたらすことがないことを知る必要があります。

建物の断熱および気密性のテストおよび検査の影響は、健康的な側面と経済的な側面があります。

室内環境の生理学的な経験は、かなり主観的なものであり、各人体の熱バランスと気温に対する個々の経験の関係は異なっています。気候に対する経験は、室内の気温と周囲の表面温度に依存しています。動きの速さおよび室内の湿度も重要です。生理学的に、空気の流れ (設計図) によって、体表面の温度が下がった感覚になります。

- 通常の気温で通常以上の空気の動きが居住空間にあった
- 居住空間の空気の流れは通常どおりだったが、室温が低すぎた
- 大量の放射熱が冷たい表面と交換された

建物の断熱テストや検査の定量的効果を評価するのは困難です。

調査は、建物の断熱性と気密性に検出された不具合による熱損失について示しています。これらの損失は、予測よりも約20–30%高くなっています。小さな家が集まった比較的大規模な集合住宅や複数の居住ビルで実施した、矯正措置を講じる前と後のエネルギー消費の監視結果もこのことを示しています。調査データがすべての建物に対して大きな影響があるとは言えないため、結果は一般的な建物では代表的なものではない可能性があります。それで、建物の断熱と気密性の効果的なテストと検査によって、約 10% ほどのエネルギー損失を軽減できるということができます。

また、調査は、エネルギー消費の増加がしばしば居住者が原因の損傷に関係していることも示しています。これは、居住者が冷たい表面の熱放射の影響や部屋で空気の流れを感じ、これを解消するために通常の温度よりも1度以上室温を上げることによります。

16.4.3 サーモグラフィ検査の混乱の原因

サーモグラフィ検査の間(通常の条件下)、断熱材損傷による温度の違いを、構造の温かい表面の U 値による自然変動による違いと混乱してしまうことがあります。

U値の違いによる温度変化は、通常、段階的で表面全体に均等に発生します。この種の違いは、屋根や床の隅、壁の角でも発生します。

空気の漏れや断熱材の損傷による温度変化は、通常、とがった輪郭特性で見分けることができます。温度パターンも均等にはなりません。

サーモグラフィ検査の間に熱画像を解釈するとき、複数の熱画像を比較することで評価のための有効なデータを入手することができます。

サーモグラフィ検査で発生する混乱の原因には次のものがあります。

- サーモグラフィ検査が終わった表面に太陽光による影響があった (窓を通して日光が入ってくる場合)
- パイプのある放熱機があった
- 測定される表面またはその近くに光が当たっていた
- 表面に風が当たっていた (風取り入れ口などから)
- 表面の湿気による沈着物の影響

表面に日光が当たる場所でのサーモグラフィ検査を行わないようにする必要があります。表面に日光の影響が及ぶ危険性がある場合は、窓に覆いをします (ベネチアン ブラインドを閉めるなど)。ただし、表面に熱が加えられているとき (太陽熱など) のみ検出できる建物の損傷や問題 (特に湿気の問題) があることに留意してください。

湿度検出の詳細については、53 ページの 16.3.2 – 湿度検出について の項を参照してください。

熱画像では、放熱機は明るい光の表面として見えます。放熱機の付近の表面温度は上昇するため、潜在的な損傷を見分けられないことがあります。

放熱機の効果による混乱を避けるため、測定前に短い期間放熱機を停止してください。建物の構造に依存していますが、サーモグラフィ検査を実行する前に数時間放熱機を停止させることが必要です。建物の表面の表面温度分布に影響を与えるほど室温が下がらないようにする必要があります。電気ヒーターのタイムラグは短く、電源を切ってから比較的早く温度が下がります (20–30 分)。

熱画像を撮影するときは、対象の壁に当たる電気を消してください。

サーモグラフィ検査の間、対象の表面に影響を与えるほどの空気の流れ (たとえば、開いた窓、開いたバルブ、測定対象の表面に向けられているファン) が発生しないようにしてください。

表面結露が発生するような濡れた表面では、表面の熱移動と表面温度の影響を確実に受けます。表面に湿気があると、通常、多少の熱を奪う蒸発がいくらか生じています。そのため、表面温度が数度下がってしまいます。主に熱の逃げ道と断熱材損傷によって表面結露が起こる危険性があります。

通常、測定前に、ここで説明した大きな混乱の元となるものを検出して除くことができます。

サーモグラフィ検査の間に測定の対象表面の問題を防ぐことができない場合は、評価結果を解釈するときにこれらの要素を考慮する必要があります。測定時に、サーモグラフィ検査を行った場所の状態を詳細に記録するようにしてください。

16.4.4 表面温度と空気の漏れ

表面温度を測定することによって、建物の気密性を検査 (建物の小さなすき間など) することができます。測定中に建物内が陰圧になっている場合は、建物のすき間から空気が入り込むことがあります。壁の隣接した領域の温度が低い場合に、冷たい空気が壁の小さなすき間から入り込みます。その結果、壁の内側の表面に冷やされた表面領域が特徴的な形状でできます。サーモグラフィ検査を使用して、冷やされた表面領域を検出できます。風速計を使用して、壁の表面付近の空気の流れを測定することができます。建物内が陽圧になっている場合は、暖かい空気が壁のすき間から流れ出します。これにより、漏れが発生している部分の周囲に、暖かい表面領域ができます。

漏れの分量は、半ばすき間に半ば建物内の気圧の違いに依存しています。

16.4.4.1 建物内の気圧状況

建物の構成要素間での気圧の違いの主な原因には次のものがあります。

- 建物の周囲の風の状況
- 換気装置の影響
- 室内と室外の気温の違い (熱差圧)

これらの要素の組み合わせが、建物の実際の気圧状況が変化します。

異なる構成要素間で結果として生じる気圧傾度は、79 ページの図のようになります。建物の風の不規則な影響により、気圧状況は異なり、複雑になることもあります。

安定した風の流れでは、ベルヌーイの定理が適用されます。

$$\frac{\rho v^2}{2} + p = \text{constant}$$

ここで、

ρ	空気の密度 (kg/m³)
v	風速 (m/s)
p	静圧 (Pa)

また、ここで、

$$\frac{\rho v^2}{2}$$

上の式は、動圧と p の静圧の和です。これらの圧力の合計が、全体の圧力となります。

表面に当たる風の流れによって、動圧は壁に対する静圧になります。静圧の大きさは主に表面の形状および風の方向と表面の角度に依存しています (ただし他の要素もあります)。

動圧の一部が表面の静圧 (p_{stat}) になることは、形状係数に依存することが知られています。

$$C = \frac{p_{stat}}{\frac{\rho v^2}{2}}$$

ρ は 1.23 kg/m³ (+15 °C の場合の空気の密度) の場合、この式により周囲の気圧を求めることができます。

$$p_{stat} = C \times \frac{\rho v^2}{2} = C \times \frac{v^2}{1.63} \text{ Pa}$$

10551803;a1

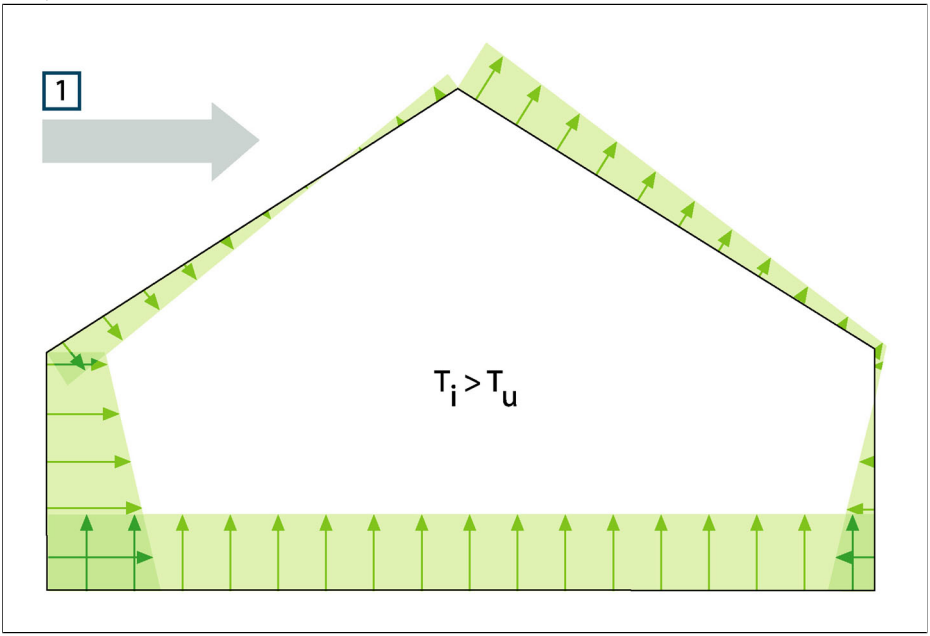


図 **16.3** 建物の閉鎖表面上で結果として生じる圧力分布は、風の影響、排気、室内と室外の温度差に依存しています。**1**: 風の方向、T_u: 熱力学的室外温度 (K)、T_i: 熱力学的室内温度 (K)。

動圧すべてが静圧になってしまった場合、C = 1 となります。異なる風の方向に対する、建物の形状係数分布の例については、80 ページの図を参照してください。

風は、風上では陰圧、風下では陽圧の原因になります。建物の気圧は、風の状況、建物の漏れ、および風の方向との関係がどのように適用されるかに依存しています。建物の漏れが均等に適用される場合、±0.2 p_{stat} の室内気圧の差が適用できます。ほとんどの漏れが風上で発生する場合、室内気圧は上昇します。反対に、ほとんどの漏れが風下で発生する場合、室内気圧は低下します。

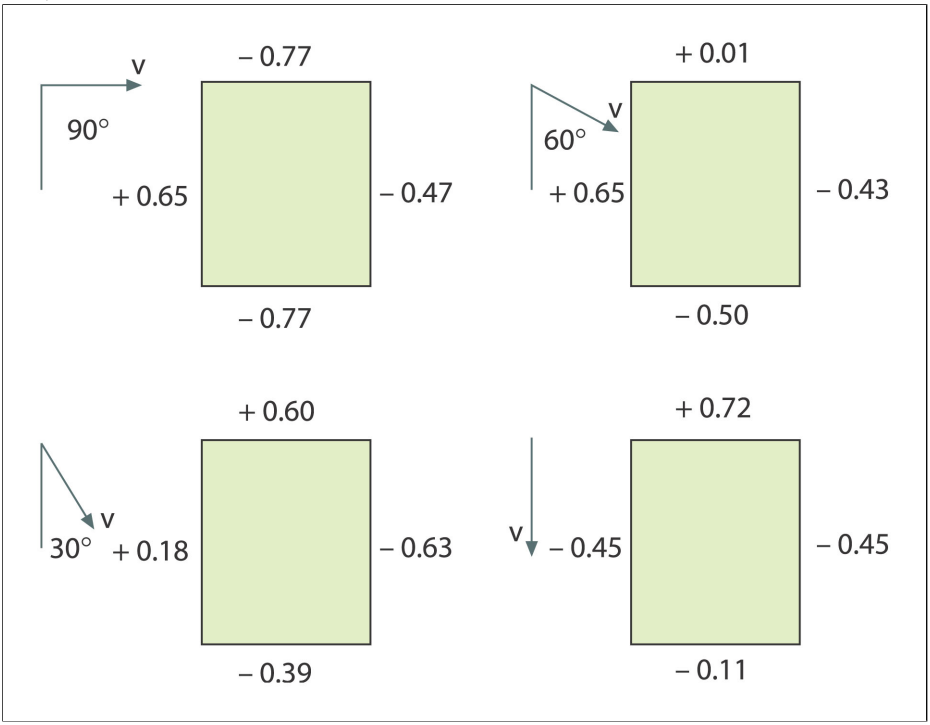


図 **16.4** 異なる風の方向および風速 (v) に対する形状係数 (C) の分布は、建物に依存しています。

時間によって、比較的近くても場所によって、風の状況は大きく異なることがあります。サーモグラフィ検査では、測定結果に明らかな影響が表れます。

正面を開けており、平均風圧が約 5 m/s の場合の差圧が約 10 Pa になることが経験によって示されています。

機械換気によって、一定の内部陰圧や陽圧にできます (これは換気方向によって異なります)。調査では、小さな家での機械抽気 (台所の換気扇) による陰圧は、通常 5 ～ 10 Pa になることが示されています。集合住宅など、循環空気の機械抽気がされている場所では、もう少し高い陰圧になります (10–50 Pa)。平衡のとれた換気 (吸気と排気が機械的にコントロールされている) がされている場所では、室内が若干陰圧になるように調整されます (3–5 Pa)。

温度の違いによって生じる差圧は、通常「煙突効果」 (異なる温度での空気の気密性の違いのこと) と呼ばれます。この効果により、建物の下部では陰圧になり、上部では陽圧になります。ある高さで、室内の気圧と室外の気圧が同じになるニュートラル ゾーンが存在します。82 ページの図を参照してください。差圧については、関係によって説明されます。

$$\triangle p = g \times \rho_u \times h\left(1 - \frac{T_u}{T_i}\right)\ \mathrm{Pa}$$

Δp	建物の気圧差 (Pa)
g	9.81 m/s^2
ρ_u	空気の密度 (kg/m^3)
T_u	熱力学的室外温度 (K)。
T_i	熱力学的室内温度 (K)
h	ニュートラル ゾーンからの距離 (メートル)

ρ_u = 1.29 kg/m^3 (273 K および ≈ 100 kPa の温度での空気密度) の場合、

$$\triangle p \approx 13 \times h\left(1 - \frac{T_u}{T_i}\right)$$

周囲の室内温度と室外温度の差が +25 °C (+77 °K) で、結果は約 1 Pa/m の高さでの差圧なります。

10552003;a1

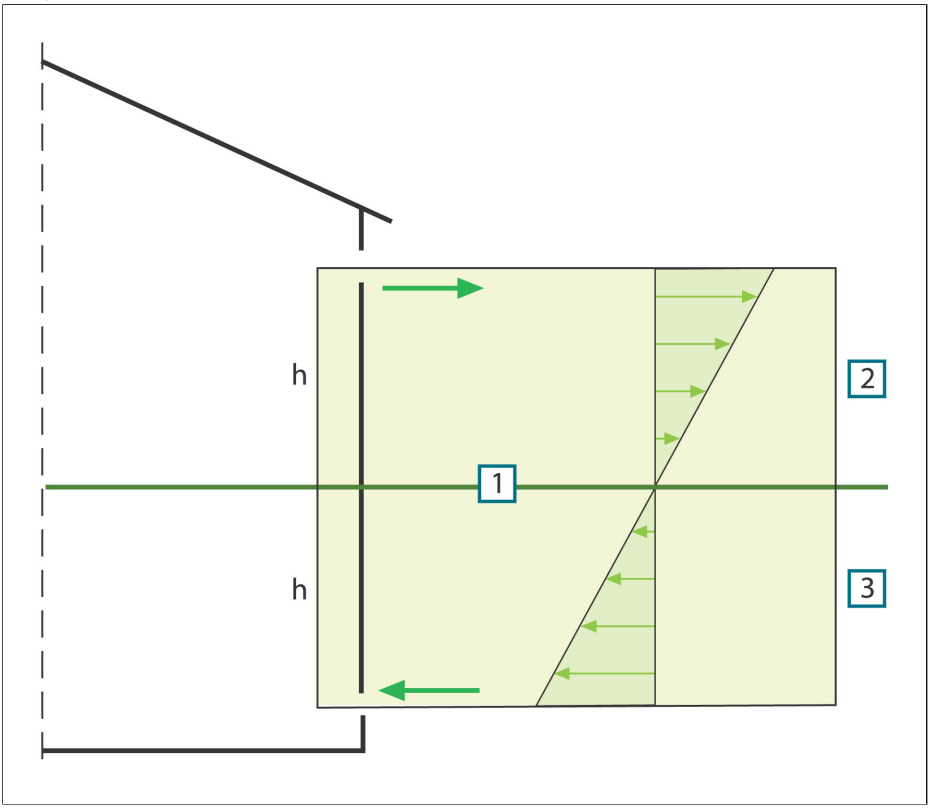


図 **16.5** 2 つの開口部があり、室外温度が室内温度より低い場合の建物の圧力分布は次のようになります。**1**: ニュートラル ゾーン、**2**: 陽圧、**3**: 陰圧、**h**: ニュートラル ゾーンからの距離 (メートル)。

ニュートラル ゾーンの位置は、建物の漏れによって異なります。垂直方向に均等に漏れが発生している場合、ニュートラル ゾーンは建物の中間の高さになります。建物の下部に漏れが多く発生している場合、ニュートラル ゾーンは低い位置になります。上部で漏れが発生している場合、ニュートラル ゾーンは高い位置になります。屋根の煙突が開いていると、ニュートラル ゾーンの位置に大きな影響を与え、その結果建物で陰圧になることがあります。こうした状況は、小さな建物で頻繁に発生します。

大きな建物のドアや窓などの建物の低い位置で漏れが発生している場合、建物の約三分の一の高さにニュートラル ゾーンができます。

16.4.5 測定条件および測定の季節

サーモグラフィ画像検査を行って、建物の囲われた部分のみの空気の漏れを検出するとき、必要な測定条件は低くなります。

外部の天候による要素からの、混乱をもたらす影響をできる限り少なくする方法でサーモグラフィ画像を記録する必要があります。そのため、たとえば暖房のかかった部屋で画像記録を行ってしまうと、建物の温かい表面を検査してしまいます。

室外でのサーモグラフィ検査は、大きな正面の測定の参考用にのみ行うことがあります。断熱が不十分であったり、室内で陽圧が発生しているような特定の状況では、室外測定が役立ちます。建物に気候上の理由による覆いがつけられている状況で断熱材の調査を行う場合でも、建物の外側からのサーモグラフィ画像で正当化することが必要です。

次の条件が推奨されています。

- サーモグラフィ画像検査前の数時間における建物の検査対象箇所の気温差が、最低でも +10°C になるようにしてください。同じ期間の周囲温度の差が、サーモグラフィ画像検査開始時での温度差よりも ±30% 以上大きくなることがないようにしてください。サーモグラフィ画像の記録中、室内の周囲温度が ±2°C 以上変化しないようにしてください。
- サーモグラフィ画像記録を開始する数時間前から、記録が続く限り、日光の影響が建物の対象箇所に及ぶことがないようにします。
- 建物の陰圧 ≈ 10–50 Pa です。
- サーモグラフィ画像検査を行って、建物の囲われた部分のみの空気の漏れを検出するとき、必要な測定条件は低くなります。室内と室外の周囲温度の差が5°C であれば、こうした欠陥を検出するのに十分です。空気の漏れ検出をするには、差圧に関する特定の要件を考慮する必要があります (通常、10 Pa あれば十分です)。

16.4.6 熱画像の解釈

サーモグラフィ検査の主な目的は、外壁や床部分の断熱材の不備や欠陥を検出し、不備や欠陥の種類や大きさを特定することです。検査する壁に断熱効果や気密性があるかどうかを確かめるように、測定方法やサーモグラフィ検査作業を計画できます。壁の「理想断熱特性」は、測定時の測定条件が明確なときは、検査対象の表面の温度分布の期待値に置き換えることができます。

実際の手順は次のようになります。

実験室または現地試験は、温度分布の期待値を、共通する壁構成要素の特有または比較熱画像 (建物の欠陥や構造に生来の欠陥がない建物) の形式で求めるために使用します。

典型的な熱画像の例は、52 ページから始まる「16.3 – 特有な分野の調査」の項で示します。

現地計測の間に、構成部分の熱画像を比較熱画像として使用する場合は、建設方法、熱画像記録時の測定状況などの詳細が分かっており、記録されている必要があります。

サーモグラフィ検査中、期待した結果からの違いの原因を記録するため、物理上、単位上、構造上の必要条件が分かっている必要があります。

現地計測中の記録された熱画像の解釈についての概要を、以下に説明します。

建物の比較熱画像 (欠陥なし) は、検査対象の壁の構造および現地計測がされたときの条件によって選択します。対象の建物要素の熱画像は、選択された熱画像を比較されます。構造設計や測定条件によて説明できない差分は、潜在的な断熱材損傷とみなすことができます。損傷の性質や大きさは、異なった損傷を示す比較熱画像を使用することによって、通常は検出することができます。

十分な比較熱画像が入手できない場合は、計算と評価が経験に基づいて行われます。分析を行うときは、より正確な推論が必要です。

熱画像を評価するとき、次のものを参照する必要があります。

- 熱の逃げ道がない表面領域の熱画像における、明るさの均一性
- 間柱材や角での冷たい表面領域の規則性および発生特性
- 外形および特性によって冷たい表面領域の形が変化する
- 構成部分の通常表面温度と選択された低音表面領域の温度差の測定結果
- 構成表面のアイソサーモの連続性および均一性。カメラのソフトウェアでは、アイソサーモ機能は、[**アイソサーモ**] または [**色アラーム**] と呼ばれる (カメラのモデルにより異なる)

熱画像の差分や不規則性は、多くの場合、断熱材損傷の可能性を示します。断熱材損傷のある建物の熱画像には見た目に大きな相違があります。断熱材損傷の中には、熱画像で特徴的な形状を持つものがあります

52 ページから始まる「16.3 – 特有な分野の調査」の項は、熱画像の解釈の例を示します。

同一の建物の熱画像を記録するとき、別の部分の熱画像は、赤外線カメラの設定をまったく同じにして記録する必要があります。これにより、表面領域間の比較を容易に行うことができます。

16.4.7 湿度および露点

16.4.7.1 相対湿度および絶対湿度

湿度は、「相対湿度」と「絶対湿度」という2つの異なった方法で表現することができます。相対湿度は、特定の空気が特定の気温でどれほどの水分を保持しているかをパーセント値で表すのに対し、絶対湿度は、材料の重さに対する水分のパーセント値を表します。絶対湿度は、ほとんどの場合、木材や他の建築材料の湿度を測定するときに使用されます。

気温が高くなると、同じ指定された容量の空気が保持できる水分の量が多くなります。

16.4.7.2 露点の定義

露点とは、特定量の空気中の湿気が結露して水になる温度のことです。

16.4.8 技術ノート「熱ブリッジと断熱連続性の査定」 (英国の例) からの抜粋

16.4.8.1 謝辞

この技術ノートは、サーモグラファの専門家および調査コンサルタントを含む作業グループによって作成されたものです。他の専門家や機関との協議により、このドキュメントは、業界の分野すべてから広く受け入れられるものとなっています。

この技術ノートの内容は、UKTA (United Kingdom Thermography Association) からの許可を受けて複製されており、すべての著作権は UKTA に帰属しています。

UK Thermography Association
c/o British Institute of Nondestructive Testing
1 Spencer Parade
Northampton NN1 5AA
United Kingdom

電話: +44 (0)1604 630124
Fax: +44 (0)1604 231489

16.4.8.2 はじめに

ここ数年の間に、装置、適用範囲、ソフトウェア、およびサーモグラフィに関する理解など、すべての面で驚くほどの進歩が見られています。この赤外線技術が主流の手法として統合されていくにつれ、適用ガイド、基準およびサーモグラフィ トレーニングなどの対応する需要も高くなってきています。

結果が「Continuity of Thermal Insulation」の試験に適合するようにする一貫した取り組みを確立するため、UKTA はこの技術ノートを出版しました。これは、担当者がこのドキュメントをガイドとして参照して建築法規を満たし、資格のあるサーモグラファが合格または不合格のレポートを発行できるようにすることを意図しています。

16.4.8.3 背景情報

サーモグラフィは、表面の温度変化を 0.1 K 程度まで検出することができ、建物表面の温度分布を目視で確認できるようにする画像を生成することができます。

断熱材の施工が雑であったり、施工されていない箇所があるなどの建物構造の熱特性の違いは、建物の両側の表面温度に違いをもたらします。そのため、サーモグラファが断熱不良を肉眼で確認することができるわけです。ただし、現場にある熱源、反射および空気の漏れなどの他のたくさんの要素も表面温度の相違の原因となります。

サーモグラファが専門的な決定を下す際は、通常、真の障害と温度差のほかの原因との相違を見分ける必要があります。近年、サーモグラファに対して、行われた建物の評価が適切であることを証明することが要求されるようになっています。十分な情報がない場合、温度の相違が許容範囲なのかそうでないのかを判断するレベルを定義するのが非常に難しくなります。

現在の英国における建物構造の熱画像の標準は、BS EN 13187:1999 です (BS EN 13187:1999, Thermal Performance of Buildings—Qualitative detection of thermal properties in building envelopes—Infrared method (ISO 6781:1983 改訂)。ただし、熱画像の解釈をサーモグラファーの専門知識に任せるがままにしており、許容範囲の相違と許容範囲外の相違の境界についても指示をほとんど提供していません。熱異常となる範囲の見え方に関するガイドは、熱画像の BINDT ガイドにあります (Infrared Thermography Handbook; Volume 1, Principles and Practise, Norman Walker, ISBN 0903132338, Volume 2, Applications, A. N. Nowicki, ISBN 090313232X, BINDT, 2005)。

16.4.8.3.1 要件

断熱連続、熱ブリッジの領域、建設法規の順守を確認するためのサーモグラフィ調査には、次の点が含まれている必要があります。

- 熱異常。
- 断熱材の損傷が原因で発生する温度差などの真の熱異常と交絡因子による温度差の識別。交絡因子による温度差には空気の移動、反射、放射などの現場特有の差がある。
- 全面的に断熱されている領域に関係する品質に影響する領域。
- 異常および建物の断熱が全体として基準を満たしているかどうかに関する結論。

16.4.8.4 熱異常の量的な評価

サーモグラフィ調査では、視野内の見かけ温度の領域によって異なる結果を表示します。しかし、データを利用するため、系統的にすべての見かけの不具合を検出し、あらかじめ設定された一連の分野に対して評価し、真の不具合ではない異常を確実に排除し、真の不具合を評価してクライアントに結果を報告する必要があります。

16.4.8.4.1 限界温度パラメータの選択

BRE Information Paper IP17/01 (Information Paper IP17/01, Assessing the Effects of Thermal Bridging at Junctions and Around Openings. Tim Ward, BRE, 2001) は、受け入れられる最低表面温度や臨界表面温度係数 f_{CRsi} に関する役立つアドバイスを提供しています。表面温度係数を使用することで、設計条件での表面結露やカビの生育の危険のある領域について、どんな熱条件でも調査を行うことができます。

実際の表面温度は、調査時点で室内と室外の温度に大きく依存しますが、「表面温度係数」 (f_{Rsi}) は、独立した絶対条件として考案されています。これは、建物構造全体における温度差と室内と室外の気温間の総温度差の比が係数となります。

室内検査の場合: $f_{Rsi} = (T_{si} - T_e)/(T_i - T_e)$

T_{si} = 室内表面温度
T_i = 室内大気温度
T_e = 室外大気温度

0.75 という f_{CRsi} の値は、「Continuity of Insulation」や「Thermal Bridging」のテストでは上端は要素として考慮されないため、新しい建物全体としては適切なものとみなされます。ただし、改装されたり、拡張された建物について考慮する場合は (水泳プールなど)、室内検査は異常な状況が発生しているとして説明される必要があります。

16.4.8.4.2 表面温度のみを使用する代替方法

表面温度のみを赤外線検査の基点として、大気温度を測定する必要がないという手法に対しては、強い反対論があります。

- 建物内の成層化は、室内大気温度への参照を非常に難しくします。これは、最低レベル、最高レベルまたは変則的なレベルの温度および壁からどれほど離れているかを測定しなければならないことになるでしょうか?
- 放射効果 (夜空への放射など) は、室外大気温度の扱いを難しくします。–50℃ (–58°F) ほどの温度の大気への放射のため、建物構造の室外表面の温度が大気温度より低くなることは珍しいことではありません。これは、大気温度が露点に達していないときでも、建物表面に露や霜がついていることから肉眼でも確認できます。
- U値の考え方は、建物の両側の環境温度を基点としていることに留意してください。このことが、多くの経験のないアナリストによって見過ごされている点です。
- 建物の骨組み (および任意の中空でない建物材料) を介した熱の移動に大きく依存している 2 つの温度は、両側の表面温度になります。
- それで、表面温度を参照することによって、検査はより再現性のあるものとなります。

- 使用される表面温度は、建物の骨組みの室内側と室外側における変則性がある部分周囲の同一材料の平均表面温度です。 変則性がある部分の温度とともに、臨界表面温度係数を使用してこれらの温度からしきい値レベルが設定されます。
- これらの議論は、サーモグラファが建物構造表面に面している背景の異常温度になっているオブジェクトの反射を意識する必要性をなくすわけではありません。
- また、サーモグラファは別の方向に向いている室外面の比較を使用することで、室外表面に影響を与える太陽熱の残存熱がないかどうかを確認する必要があります。
- 室外調査は、表面の $T_{si} - T_{so}$ が北側もしくは北にもっとも近い面の $T_{si} - T_{so}$ よりも 10% 以上大きい面について行うべきではありません。
- IP17/01 の条件で 0.75 以下となって不合格となる不良は、臨界表面係数は室内表面では 0.78、室外表面では 0.93 となります。

下記の表は、IP17/01 で不合格となる異常部分の室内および室外表面温度を示しています。また、この原因となる断熱材の損傷についても示しています。

断熱不良のある軽量構築クラッド材の例	良好な領域	欠陥のある領域
室外温度 (℃)	0	0
室内表面温度 (℃)	19.1	15.0
室外表面温度 (℃)	0.3	1.5
IP17/01 からの表面係数	0.95	0.75
IP17/01 後の臨界室外表面温度係数		0.92
このレベルの性能を実現する断熱材の厚さ (mm)	80	5.1
ローカル U 値 (W/m^2K)	0.35	1.92
UKTA TN1 表面係数		0.78
UKTA TN1 室外表面係数		0.93

表の注

1 ADL2 2001 から取得した表面抵抗の値は、次のとおりです。

- 室内表面 0.13 m^2K/W
- 室外表面 0.04 m^2K/W

これらの数値は BS EN ISO 6946 (BN EN ISO 6946:1997 建物構造および建物要素 - 熱抵抗および熱貫流率 - 計算方法) を基にしています。

2 ここで使用されている断熱材は、伝導率 0.03 W/m K と仮定しています。

3 異常部分と良好な部分の温度差は、室外では 1.2 度、室内では 4.1 度になっています。

4 内部検査用 UKTA TN1 表面温度係数は次のとおりです。
$F_{si} = (T_{sia} - T_{so})/(T_{si} - T_{so})$
ここで、
T_{sia} = 異常部分の室内表面温度
T_{so} = 室外表面温度 (良好部分)
T_{si} = 室内表面温度 (良好部分)
5 外部検査用 UKTA TN1 表面温度係数は次のとおりです。
$F_{so} = (T_{soa} - T_{si})/(T_{so} - T_{si})$
ここで T_{soa} = 異常部分の外部表面温度

16.4.8.4.3 許容範囲内の欠陥領域の選択

欠陥の許容範囲は、品質制御の問題です。結露、カビの生育や断熱不良が発生する余地があるはずのないところで、そのような異常に関するレポートが含まれていると議論の原因となります。ただし、建物の外部露出領域の 0.1% という通常使用される値は、建築法規に適合する最大結合不良領域として一般に受け入れられています。これは、1000 平方メートルあたり 1 平方メートルということを意味します。

16.4.8.4.4 表面温度の計測

表面温度の測定は、熱画像システムの機能の一つです。経験のあるサーモグラファは、考慮中の表面における放射率と反射率の変化を見分け、明確にし、説明します。

16.4.8.4.5 不良領域の測定

不良領域の測定は、熱分析ソフトウェアでピクセルを数えることによって行われます。ほとんどのスプレッドシート パッケージでは次の点を仮定しています。

- カメラから対象までの距離が、レーザー測定システムなどを使用して正確に測定されている、
- 画像システムの IFOV で、対象までの距離が考慮されている、
- 垂直の位置からのカメラと対象表面間の角度の変化が考慮されている。

窓、屋根照明、暖房装置、冷房装置、配管および導電体を含む、たくさんの構造の特徴を持つ建物は、定量的な検査を行えなくなります。ただし、これらの物体と建物の覆いの接続部分については、検査の一部として考慮する必要があります。

16.4.8.5 条件および設備

断熱検査から最善の結果を得るため、環境条件を考慮して、作業にもっとも適合するサーモグラフィ テクニックを使用することは非常に重要です。

熱異常は、サーモグラファに対して、温度差がどこで発生しているかを示すだけであるため、環境現象としての説明が必要です。最低でも、次の条件下で実施する必要があります。

- 建物構造全体の温度差が 10℃ 以上である。
- 測定前の 24 時間で室内大気温度と周囲大気温度の差が 5℃ 以上変化した。
- 検査中および検査後一時間で室外大気温度が ±3℃ 以内である。
- 検査前 24 時間以内の室外大気温度が ±10℃ 以内である。

さらに、室外検査は次の条件で実施する必要があります。

- 必要な表面が直射日光に当たっておらず、太陽光の輻射による残存効果もないこと。これは、建物の反対側の表面温度と比較することによって確認できます。
- 検査前および検査中に降雨がないこと。
- 検査される建物表面がすべて乾いていること。
- 風速が 10 m/s 以下であること。

サーモグラフィ建物検査を計画するときに、温度以外に考慮が必要な他の環境条件があります。たとえば室外検査の場合、隣接した建物や寒い晴れた空からの放射線放出や反射の影響を受けますし、さらに大きな熱効果があるものとして太陽の表面への影響があります。

さらに、室内であれ室外であれ、背景温度と大気温度の差が5K以上ある場合は、すべての表面に関係する背景温度をを測定して、表面温度をより正確に測定できるようにする必要があります。

16.4.8.6 検査および分析

次にサーモグラフィ オペレータへの操作上のアドバイスを示します。

検査では、すべての熱異常を報告し評価するため、すべての表面に対する検査を実施して十分なサーモグラフィ情報を入手する必要があります。

他のサーモグラフィ検査と同様、最初に環境データを収集する必要があります。

- 異常のある領域の室内温度。
- 異常のある領域の室外温度
- 表面の放射率
- 背景温度
- 表面からの距離

補間によって、使用するしきい値温度を決定する。

- 室内検査では、しきい値表面温度 (T_{sia}) は $T_{sia} = f_{si}(T_{si} - T_{so}) + T_{so}$ となります。サーモグラファは、表面温度がこのしきい値よりも低くなっていることの証拠を入手しようとします。

- 室外検査では、しきい値表面温度 (T_{soa}) は $T_{soa} = f_{so}(T_{so} - T_{si}) + T_{si}$ となります。サーモグラファは、表面温度がこのしきい値よりも高くなっていることの証拠を入手しようとします。

異常のある部分の画像は、分析に適した形式で必ず採取する必要があります。

- 画像は、壁や屋根の面に対して直角になっている必要があります。
- 視角は、撮影する表面に対してほぼ垂直になっています。光、放熱源、 導電体、反射要素などによる干渉源からの影響を最低限に抑えられます。

分析方法は、使用する分析ソフトウェアによって異なりますが、基本となる手順は次のとおりです。

各異常部分や異常部分全体の画像を生成します。

- ソフトウェアの分析ツールを使用して、画像内の異常がある箇所を囲みます。排除する必要のある構造の詳細については含めないように注意する必要があります。
- しきい値温度よりも低い領域を室内検査用に、しきい値温度よりも高い領域を室外検査用に計算します。これが、不良のある領域となります。検査時に不良のある部分に見えた異常部分でも、この段階では不良部分とならないことがあります。
- すべての画像から不良領域を加算します $\sum A_d$。
- 露出している建物構造の全面積を計算します。これは、壁および屋根の表面領域となります。外部表面領域を使用するのは一般的になっており、単純な形の建物であれば、全体の幅、長さ、高さから算出されます。
  $A_t = (2h(L + w)) + (Lw)$
- 重大な不良が発生しているかどうかを判断します A_c。一時的に、これを全体の表面領域の 1000 分の 1 (0.1%) と設定します。
  $A_c = A_t/1000$
- $\sum A_d < A_c$ の場合、建物が全体として「連続的に」断熱されているとみなされます。

16.4.8.7 レポート作成

レポートでは、合格/不合格の結果を照明する必要があります。顧客の要求事項と BSEN 13187 で要求されている情報を含める必要があります。次のデータは通常必要とされるものであるので、検査は是正措置に従って繰り返し実施される必要があります。

- 対象の背景と試験の方針。
- 場所、方向、検査日付および時間。
- 特有の識別情報。
- サーモグラファ名および資格。
- 建物の種類。
- 天候、風速および方向、降雨、日光、雲の程度。

- 開始前、各検査の開始時、各画像の撮影時の室内および室外の周辺温度。大気温度と放射温度を記録する必要があります。
- 該当する試験要件と異なる点に関する記述。
- 使用した装置、キャリブレーション日付、不具合 (ある場合)。
- 試験者の名前、所属および資格。
- 検出された不具合の種類、程度および位置。
- 他に行われた補足測定や調査の結果。
- レポートは、サーモグラファによって分類され保管される必要があります。

16.4.8.7.1 検討事項と制限

次の点を考慮して、室内調査か室外調査の選択を判断します。

- 表面を利用する。つり天井が傷んでいたり、材料が壁に沿って詰まれている場合などの室内および室外表面が両方とも隠されている建物では、この手法の検査に変更することはできません。
- 断熱材の場所。通常、断熱材にもっとも近い側面からの検査がより効果的です。
- 重い材料のある場所。通常、重い材料がある場所にもっとも近い側面からの検査は効果的ではありません。
- 検査の目的。検査の目的が結露やカビの生育の危険を示すことであれば、室内で検査する必要があります。
- ガラス、地金、その他の高反射性の材料の位置。高反射性材料の上では、検査は効果的ではありません。
- 不良箇所は、通常、壁の外側で小さな温度変化を示し、室外空気の動きを示します。ただし、室外表面に近い箇所の断熱材の欠落や損傷の場合は、外側からより明確に確認できます。

17 電気設備のサーモグラフィー検査について

17.1 重要な注意事項

この項で説明するカメラの機能や特徴がすべてお使いのカメラ構成でサポートされているわけではありません。

電気規制は国によって異なります。このため、このセクションで説明されている電気手順は、ユーザーの国の標準と異なる場合があります。また、多くの国では、電気検査を実施するためには、正式な資格が必要になることがあります。国や地域の電気規制を常に参照するようにしてください。

17.2 一般情報

17.2.1 はじめに

近年、サーモグラフィーは、電気設備の検査における確立された技法となっています。これは、最初にサーモグラフィーが使用された分野であり、今でも最大のサーモグラフィー検査の分野となっています。赤外線カメラは、今でも急激な進歩を遂げており、現在 8 世代目のサーモグラフィー システムが利用可能です。すべてが始まったのは、40 年以上前、1964 年です。現在、この技法は世界中で確立されています。先進国でも発展途上国でもこの技法が採用されています。

振動解析と連動したサーモグラフィー検査は、ここ数十年で、予防保全プログラムの一部として、この分野での主要な不良診断手法となりました。これらの手法の最大の利点は、設備が動作しているときに検査を実行できることがあります。実際のところ通常の動作状態であることは、正確な測定結果を得るための必須条件となっているので、通常の製造工程を妨害することがない点も最大の利点と言えます。3 つの主な分野で、電気設備のサーモグラフィー検査が行われています。

- 発電
- 送電
- 配電 (電気エネルギーの工業使用)

通常動作条件でこれらの制御が行われる事実のため、自然にこれらのグループに分類されます。発電所は、高負荷の時期に測定を行います。これらの期間は、国により、また気候帯により異なります。また、検査する発電所の種類 (水力、原子力、石炭、石油) により測定期間が異なります。

この産業分野では、検査は(明らかな季節の違いがある北欧諸国などでは)春、夏または動作が長期的に停止する前に実施されます。そのため、動作が停止しているときに修理が行われます。ただし、この規則性は失われつつあり、発電所の負荷および動作条件に検査が左右されるようになっています。

17.2.2 一般設備データ

検査される設備には、検査前に検査官に知らされているべき特定の温度特性があります。電気設備の場合は、抵抗の増加や電流の増加によって異なる温度パターンを示すことができない物理的な原則はよく知られています。

ただし、ある状況下では(例えばソレノイド)、「過熱」は通常のことで、必ずしも異常とは言えないことを覚えておいてください。電気モーターと連動している場合など、別のケースでは、正常な部分が負荷をすべて負担しているために、過熱が発生している場合もあります。

同様の例については、109 ページの「17.5.7 – 一方の欠陥による他方の過熱」の項を参照してください。

欠陥のある部分は、過熱したり、通常の「健全な」構成部分よりも温度が低くなったりするなどして示されます。検査を行う前に、設備について可能な限りたくさんの情報を入手することにより、予想されることについて知っておくことは必要です。

ただし、一般的な原則は、ホット スポットは推定的な欠陥によって引き起こされるということです。測定時点における特定の構成部分の温度および負荷は、欠陥の重要性や他の状況に変化し得るかを示します。

各々の固有の状況において正しく評価するには、構成部分の熱特性についての詳細情報が必要です。つまり、関係する材料の最大可能温度およびシステムでの当該構成部分の役割について知る必要があります。

例えば、ケーブル断熱材から断熱特性が失われて特定の温度よりも上昇してしまった場合は、発火の危険が高くなります。

ブレーカーの場合には、温度が高すぎると、部品が溶けてブレーカーを開くことができるようになり、その結果機能が破壊されてしまいます。

IR カメラ オペレーターが検査する設備について知れば知るほど、検査の質は高くなります。ただし、IR サーモグラフィー検査を行う人が影響する設備の異なる種類すべてについての詳細な知識を入手するのは、実質的に不可能です。そのため、検査中に設備の責任者が立ち会うのが慣習になっています。

17.2.3 検査

検査の準備には、正しいレポートの種類を選択することも含まれている必要があります。欠陥のあった回路の電流を測定するための電流計などの補足的な装備もしばしば必要です。屋外設備の検査では、風速を測定するための風速計が必要です。

自動機能によって、IR オペレーターは設備の熱画像を正しいコントラストで表示でき、容易に欠陥やホット スポットを表示できます。走査した構成部分から過熱部分を見落とすのは、ほとんどあり得ません。測定機能により、画像のエリア内で最も熱い部分、選択したエリアの最高温度と基準温度 (大気温度などのオペレータが選択した温度) の違いなどが自動的に表示されます。

10712703;a3

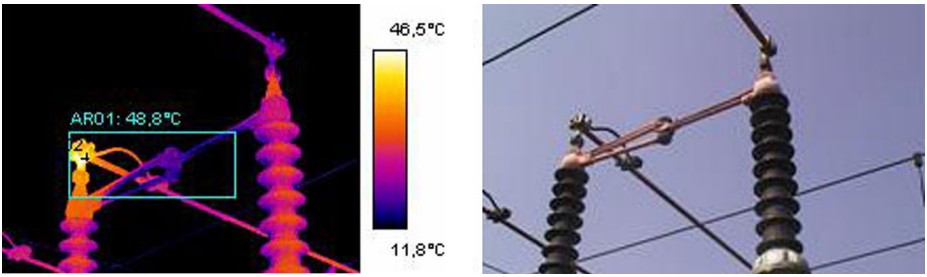


図 **17.1** 電源遮断機の熱画像と実画像

欠陥が明らかに特定され、IR サーモグラフィー検査者にも過熱部分が反射や通常のものではないことが明らかであるときに、データ収集が始まります。これにより、欠陥の正しいレポートが可能になります。放射率、構成部分の同定、実際の動作条件および測定温度がレポートに使用されます。構成部分を確認しやすくするために、欠陥部分の実画像をしばしば撮影します。

17.2.4 分類およびレポート

以前から、レポート作成は IR 検査において最も時間のかかる作業であるとみなされています。1 日の検査を行うと、検出された欠陥のレポート作成、分類に 1、2 日間を要することがあります。これは、コンピュータや新しいレポート作成ソフトウェアがIR条件モニターにもたらす利点を活用しない多くのサーモグラフィー検査者に共通しています。

欠陥の分類には、検査時の状況を記録する (確かに非常に重要) 以上の詳しい意味があります。過熱部分を標準負荷や大気温度条件に標準化することが必要です。

+30°C を超える温度は、重大な欠陥です。ただし、100% 負荷で動作している部分と、50% 負荷で動作している部分で過熱が発生している場合は、50% 負荷で動作している箇所の負荷が100% 負荷に増加すると温度がさらに高くなる

ことは明らかです。発電所の状況により、このような標準化が採用されます。ただし、多くの場合、100% 負荷での温度が想定されます。標準化することにより、長期的に欠陥を比較することが容易になり、より完全な分類を行うことができます。

17.2.5 優先順位

欠陥の分類に基づき、保守管理者が欠陥箇所の修理の優先順位をつけます。多くの場合、赤外線検査に収集された情報は、振動モニター、超音波および予防保守スケジュールなどの設備の補足情報と合わせて考慮されます。

IR 検査は、通常動作条件で安全に電気設備についての情報を収集する方法として、非常に早く受け入れられましたが、保守管理者、製造管理者が考慮する必要のある他の情報は多くあります。

そのため、修理の優先順位をつけることは、通常 IR カメラ オペレーターが行うべきではありません。検査中または欠陥の分類中に深刻な状況を検出した場合、もちろん保守管理者の注意を引くようにする必要がありますが、修理の銃領土を決定する責任はオペレーターにはありません。

17.2.6 修理

既知の欠陥を修理することは、予防保守における最も重要な要素です。ただし、適切な時期に適切なコストでの生産を保証することは、保守グループにとっての重要な目標の1つでもあります。赤外線検査によって提供された情報は、修理効率の向上やリスクを計算して目標を達成することに使用することができます。

交換部品がないなどの理由ですぐに修理できない既知の欠陥の温度を監視することは、検査費用の千倍、時には IR カメラそのものなどの代償を払うことになります。既知の欠陥を修理しないで保守コストを押さえ、不必要な不稼働時間を避ける決定をすることは、IR 検査からの情報を生産的に使用する方法の 1 つです。

ただし、検出された欠陥の特定および分類の一般的な結論は、直ちにまたは可能な限り早く修理することを推奨する、というものです。修理担当者が欠陥の特定に対する物理的な原則に留意していることが大切です。過熱していて、緊急の状況であることが検出された場合、個人的な期待を修正して、大きく腐食している箇所を探すのが一般的です。正常な部分でも接続が外れていると、腐食している箇所と同様の高温になることは、修理チームにとっては驚くべきことではありません。このような解釈の間違いは、共通したことで赤外線検査の信頼性を疑わせる危険性があります。

17.2.7 制御

修理された構成部分は、修理後にできる限り早く制御される必要があります。次の IR 検査まで待って、新しい検査と修理された箇所の制御をまとめてしまうことは効率的ではありません。修理箇所についての統計データによると、修理された欠陥の最高3分の1で依然として過熱が発生します。それで、欠陥修正箇所に障害の潜在的な危険があると言うことができます。

次の IR 検査スケジュールまで待つことは、工場設備に不必要な危険を与えることになります。

速やかに修理箇所の制御を行うことにより、保守サイクルの効率を上げる (工場設備の危険性を抑える) ことに加えて、修理チームのパフォーマンスが向上するという利点があります。

欠陥箇所の修理後も過熱が発生しているとき、過熱の原因を特定することにより、修理手順を向上し、最適の部品業者を選び、電気設備の設計上の問題を検出することができます。チームがすぐに作業の効果を実感すると、成功と失敗からすぐに学ぶことができます。

IR 装備を整えた修理チームを提供する理由は、IR 検査で検出される欠陥は重要度が低いことが多いということです。それらを修理して保守および稼働時間を消費するよりも、これらの欠陥を制御下に置くことを選択できます。このため、保守管理者は自分のIR装備を利用できるようにしておく必要があります。

修理または稼働中にレポート形式の誤りが見つかることも一般的です。これらの意見は、在庫を減らし、最適な業者を選択し、新しい保守管理者を教育する上で、重要な経験になります。

17.3 電気設備のサーモグラフィー検査の測定手法

17.3.1 装備を正確に設定する方法

熱画像は、高温度変化を表示します。

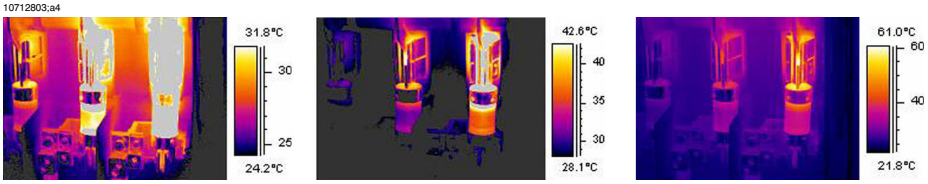


図 **17.2** ヒューズボックス内の温度変化

上の画像では、右側のヒューズの最高温度は +61°C、左側のヒューズの最高温度は +32°C になっており、真ん中のヒューズの最高温度はその中間になっています。3 つの画像は、温度スケールが異なっており、各画像は 1 つのヒューズを強調しています。ただし、同じ画像に 3 つのヒューズの情報があります。これは、温度スケール値の設定の問題です。

17.3.2 温度測定

最近のカメラの中には、自動的に画像の最高温度を検出するものがあります。次の画像は、オペレーターにどのように表示されるかを示しています。

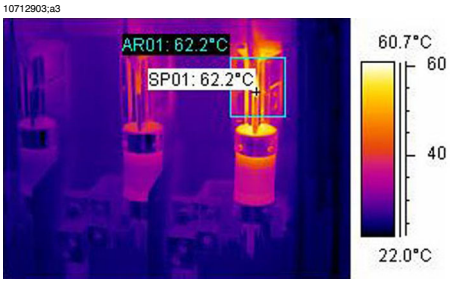


図 **17.3** 最高温度が表示されたヒューズ ボックスの熱画像

このエリアの最高温度は、+62.2°C です。スポット メーターは、ホット スポットの正確な場所を示しています。画像は簡単にカメラ メモリーに保存できます。

ただし、正確な温度測定は、評価ソフトウェアやカメラの機能のみに依存しているのではありません。実際の問題は、カメラからは隠れている接続で瞬間的に発生していることがあります。そのようになると、遠くで発生した熱を測定してしまい、実際のホット スポットが隠れてしまうことがあります。例を以下に示します。

10717603;a3

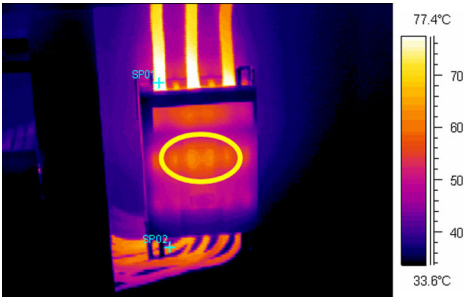


図 **17.4** ヒューズ ボックス内の隠れたホット スポット

別の角度を選択して、過熱エリアがフル サイズで表示されるようにして、背後に最も高いホットスポットがあることがないようにします。この画像では、最も高いホット スポットがカメラでは +83°C に見えます。ここで、ボックスの下にあるケーブルの動作温度は +60°C になっています。ただし、本当のホット スポットはほぼ確実にボックス内に隠れています。黄色の円の部分を見てください。この欠陥は +23°C 超過とレポートされますが、本当の問題のある箇所はそれよりかなり高くなります。

対象の温度を低く測定してしまう別の理由は、焦点が合っていないことです。検出されたホット スポットに焦点が合っていることは非常に重要です。次の例を参照してください。

10717403;a2

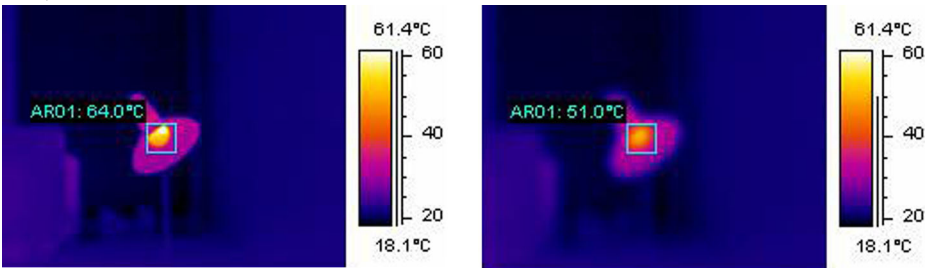


図 **17.5** 左: ホット スポットに焦点があっている、右: ホット スポットに焦点が合っていない

左の画像では、ランプに焦点が合っています。平均温度は +64°C です。右の画像では、ランプに焦点が合っておらず、そのため平均温度が +51°C になってしまっています。

17.3.3 比較測定

電気設備のサーモグラフィー検査では、特別の手法が使われます。これは、別の対象との比較に基づいて行われ、「基準温度を使用した測定」と呼ばれます。これは、各々を3つの面で比較する方法です。この方法は、平行して3つの面の系統的な検査を行って、通常の温度パターンと異なるかどうかを評価する必要があります。

通常の温度パターンとは、現在の対象構成部分が指定された動作温度で特定の色 (またはグレースケール) で表示されます。これは、通常、対称負荷の下では 3 つの面で同一です。色の小さな違いは電流パス (例えば、2 つの異なる材料の接続部、導体部分の増加または減少)、または電流パスがカプセルで覆われている回路ブレーカーで発生することがあります。

以下の画像には、温度が似通っている3つのヒューズが写っています。挿入されたアイソサーモは、各フェーズ間で +2°C の違いであることを示しています。

各フェーズで非対称負荷を負っている場合に結果が異なるのが普通です。この色の違いは、ローカルではなく、全フェーズに拡張されるため、過熱箇所は表示されません。

10713203;a3

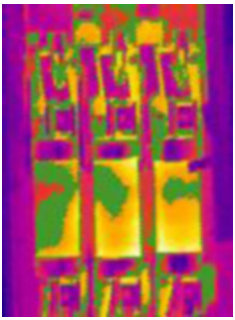


図 **17.6** アイソサーモでのヒューズ ボックスの熱画像

本当のホット スポットは、熱源に近づくにつれて温度が上昇して見えます。次の画像を参照してください。断面図 (回線) は温度が徐々に増加して、ホット スポットで約 +93°C に達していることを示しています。

10713303;a4

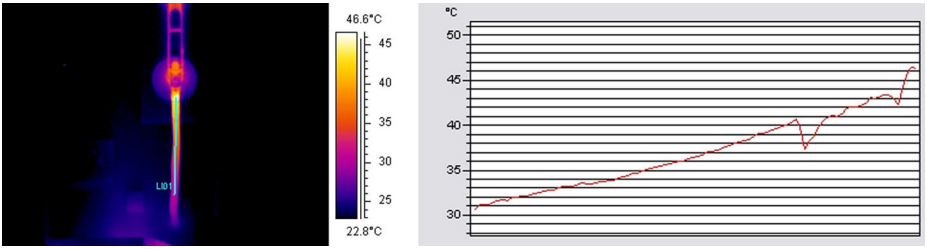


図 **17.7** 熱画像の断面図およびグラフは、温度が上昇していることを示している

17.3.4 通常動作温度

サーモグラフィーを使用した温度測定は、対象の絶対温度を示すのが普通です。構成要素の温度が高すぎるかどうかを正確に評価するため、動作温度を知っておくことが必要です。負荷おもび環境の温度を考慮して通常温度を算出します。

直接測定によって絶対温度 (ほとんどの構成要素の絶対温度が上限を超えているときなどに考慮する必要がある) を求めることができますが、動作温度の期待値を負荷と大気温度に基づいて求める必要があります。次の定義を考慮してください。

- 動作温度: 構成要素の絶対温度現在の負荷および周囲温度に依存します。常に周囲温度より高い値になります。
- 超過温度 (過熱): 通常に動作している構成部分と欠陥のある部分の温度差

超過温度は、通常構成部分と付近の温度の差で求めます。各々異なる面の同じ位置で比較する必要があります。

例えば、屋内設備についての次の画像を参照してください。

10713403;a4

図 **17.8** 屋内電気設備の熱画像 (1)。

左の2つの面は正常とみなされていますが、右側の面は明らかに温度超過しています。実際、左の動作温度は +68°C で、十分高い温度ですが、右側の欠陥のある面は +86°C の温度になっています。つまり、超過温度は +18°C となっており、直ちに処置が必要です。

実際的な理由で、構成部分の通常および期待動作温度は、3 つのうち 2 つの面の構成部分の温度とみなされています。それらが正常に稼動しているとみなされています。最も正常な状況は、3 つすべての温度が同じ、またはほとんど同じ温度である場合です。変電所または伝染の屋外構成部分の動作温度は、通常、気温よりも 1°C か 2°C 高いだけです。屋内変電所では、動作温度は大きく異なります。

この事実は、下の画像にはっきりと示されています。ここで左の画像は超過温度を示しています。動作温度は、2 つの「冷たい」面によると +66°C です。欠陥のある面の温度は +127°C で、直ちに処置が必要です。

10713503;a5

図 **17.9** 屋内電気設備の熱画像 (2)。

17.3.5 欠陥の分類

欠陥のある接続が検出されたら、訂正測定が必要です (当座は必要ではない場合もあります)。最も最適な対応を勧めるため、次の基準で評価することが必要です。

- 測定中の負荷
- 一定または変動する負荷
- 電気設備での問題部分の場所
- 予想される今後の負荷状況
- 超過温度は問題のあるスポットで直接測定されたか、装置の内側の欠陥部分から伝って間接的に測定されたものか?

欠陥部分から直接測定された超過温度は、通常、最大負荷の 100% に関して 3 つの分野に分類します。

I	< 5°C	過熱状況の初期です。注意深い監視が必要です。

II	5–30°C	過熱が進んでいます。可能な限り早く修理が必要です(修理を決定する前に、負荷状況を考慮する必要があります)。
III	>30°C	深刻な過熱が発生しています。直ちに修理が必要です(修理を決定する前に、負荷状況を考慮する必要があります)。

17.4 レポート作成

現在、ほとんどの電気設備のサーモグラフィー検査は、例外なく、レポートプログラムを使用してドキュメント化され、レポートされます。製造業者によって異なる、これらのプログラムは、通常、カメラに直接最適化されており、レポートをすばやく簡単に作成できます。

以下のレポート ページを作成するために使用されているプログラムは、FLIR Reporter と呼ばれています。FLIR Systems からいくつかの種類の赤外線カメラに最適化されています。

専門レポートは、通常 2 つの部分に分類できます。

- 前ページ。次のような検査の事実が記録されます。
  - 例えば、クライアント名、顧客の会社名および担当者名
  - 検査場所: 現場の住所、都市など
  - 検査日
  - レポート日
  - サーモグラフィー検査者の名前
  - サーモグラフィー検査者の署名
  - サマリーまたは目次

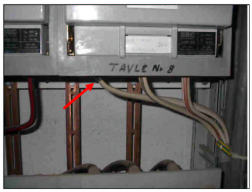
- 検査ページには、熱画像が含まれており、ドキュメント化および熱特性および異常の分析を行います。
  - 検査対象の特性:
    - 対象情報: 記号、名前、番号など
    - 写真
  - 熱画像。熱画像を収集する際、いくつかの詳細を検討する必要があります。
    - 光学的な焦点
    - シーンの温度調整または問題 (レベルおよびスパン)
    - 構成: 適切な観察距離および表示角度が必要です。
  - コメント
    - 異常はありませんでしたか?
    - 反射はありませんでしたか?
    - 測定ツール (スポット、エリアまたはアイソサーモ) を使用して、問題を明確にします。可能な限り単純なツールを使います。特性グラフは、電気レポートではほとんど必要ありません。

10713603;a3

THERMOGRAPHY INSPECTION
for
FLIR Systems AB

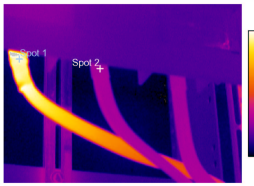
Date: 2005-10-10
Sign. _____
Contract. : 1708

Photograph



Place	Building 1
Localization	Right panel, group 2
Equipment	Fuse
Model / type	BBC LHBN 250
Phase / ID	Supply for Panel 8
Room temperature °C	15
Status	**Over heated**

Thermogram



Temp. Spot 1			34 °C
Temp. Spot 2			17 °C
TEMPERATURE DIFF			**17 °C**
Phase	L1	L2	L3
Load (A)	45	47	47
Rated load	250		
Fault class	**2**		

Comment

Disconnect cable, clean contact surfaces. Check for connectivity between cable shoe and lead.
Replace any defective component. Assemble according to directions with correct torque.

Note that load is only 18%. Calculated temperature rise at 50% load would be approximately 104°C.
[T50=(T1-T2)*(125/45)^1.6+T2]

Corrected

Measure taken:_____	Date:_____
Sign:_____	Sign.:_____

Side 1

図 **17.10** レポート例

17.5 電気設備での異なる種類のホット スポット

17.5.1 反射

サーモグラフィー カメラは、レンズに入る放射を撮影します。自分が見ている対象からの放射だけでなく、他の場所から放射され対象によって反射されるものも撮影します。ほとんどの場合、肉眼で明らかではないとしても、電気構成部分は赤外線に対しては鏡のようになります。覆われていない金属部分はとりわけ光りますが、塗装されていたり、プラスチックやゴムで絶縁されいる箇所は輝いていません。次の画像では、サーモグラフィー検査者からの反射がはっきり分かります。これは、もちろん対象のホット スポットではありません。自分が見ているのが反射かどうかを判断するための良い方法は、自分が動いてみることです。対象を別の角度から見ることにより、「ホット スポット」を見ることができます。自分が動くと一緒に動くようであれば、それは反射です。

鏡のような対象の温度を詳細に測定するのは不可能です。次の画像の対象は、温度測定にふさわしく塗装された部分があります。材料は銅で、銅は高い伝導率を持っています。これは、表面の温度変動が小さいことを意味しています。

10717503;a2

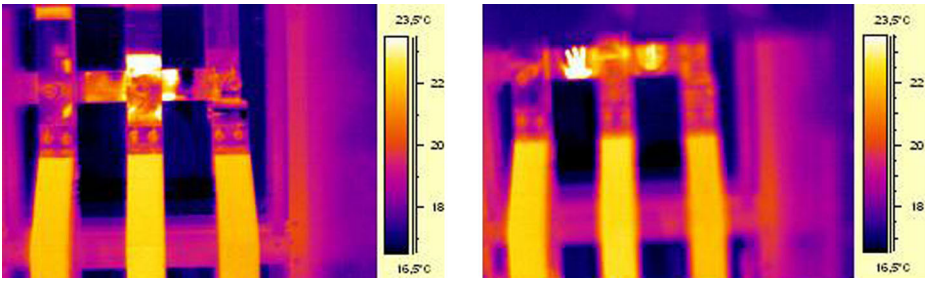


図 **17.11** 対象の反射

17.5.2 太陽熱

高い放射率の構成部分の表面 (例えばブレーカー) は、夏などには日光が当たってかなり温度が上昇してしまうことがあります。画像は回路ブレーカーを示しており、太陽によって熱くなっています。

10713803;a3

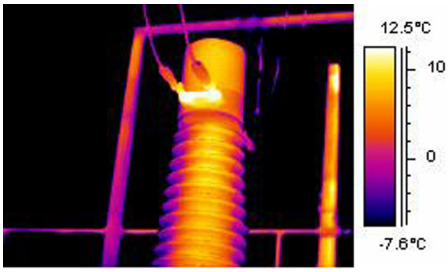


図 **17.12** 回路ブレーカーの熱画像

17.5.3 誘導熱

10713903;a3

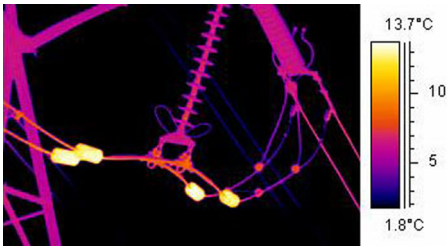


図 **17.13** 熱い安定錘の熱画像

渦電流は、電流路のホット スポットの原因になることがあります。非常に電流が高く、他の金属に近接していると、ある状況で重大な火災の原因になることがあります。この種類の過熱は、電流路の周囲の磁気材料 (例えば、絶縁ブッシュの金属の底板など) で発生することがあります。上の画像では、安定錘があり、安定錘を通して高い電流が流れています。これらの金属錘 (わずかに磁気を持つ材料) には電流が流れませんが、交流磁場にさらされています。このため錘の温度が最終的に上昇してしまいます。画像での過熱は +5°C 以下です。ただし、いつでもこのようであるわけではありません。

17.5.4 負荷変化

3 面システムは電気設備では標準になっています。過熱された箇所を探すとき、直接 3 面を比較すると簡単です (例えば、ケーブル、ブレーカー、絶縁体)。面ごとに一定の負荷をしゆすると、3つすべての面で一定の温度パターンを得られます。1 つの面の温度が他の 2 つと大きく異なる場合は、欠陥がある

ことが予想されます。ただし、負荷が均等に配分されていることを確認する必要があります。固定電流計を見るか、クリップ式の電流計 (最大 600 A) を使用すると明らかです。

10714003;a3

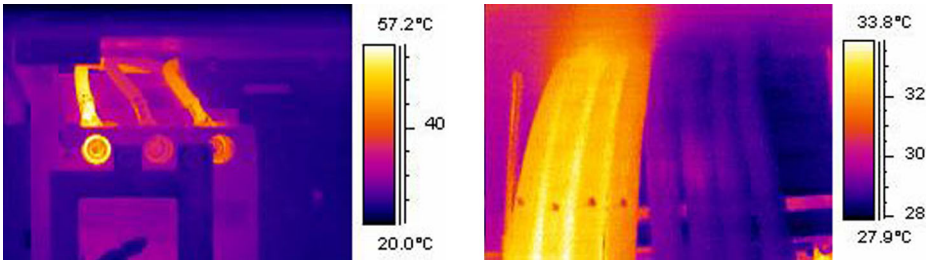


図 **17.14** 負荷変化の熱画像の例

左の画像は3本のケーブルが隣り合っています。ケーブルは十分離されているので、互いに熱的に絶縁されているとみなすことができます。真ん中の1つが他のケーブルより温度が低くなっています。2つの面に欠陥があり過熱しているのでない限り、これは非対称負荷の典型的な例です。温度はケーブル全体に広がっており、接続不良ではなく、負荷依存の温度が上昇していることを示しています。

右の画像は、大きく異なる負荷の2束のケーブルを示しています。実際、右の束は負荷が接続されていません。かなり高い電流負荷があると、負荷がないものに比べ約 5°C 高くなっています。これらの例では、欠陥はありませんでした。

17.5.5 変化する冷却条件

10714103;a3

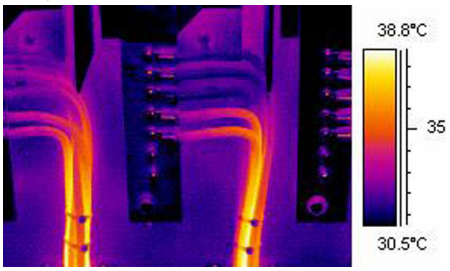


図 **17.15** ケーブルの束の熱画像

例えば、たくさんのケーブルを束にして、冷却が悪いケーブルを中に入れると、非常に高温になることがあります。上の図を参照してください。

画像の右のケーブルは、ボルト付近で過熱していません。ただし、束の垂直方向では、ケーブルは非常にきつく締められており、ケーブルの冷却が悪くなっています。対流によって熱を逃がすことができないため、ケーブルの温度が上がり、ケーブルの冷却が良い部分の温度よりも約 5°C 高くなっています。

17.5.6 抵抗変化

過熱には、いろいろな原因があります。一般的な理由のいくつかをいかに説明します。

接続部、材料の損傷 (バネの劣化、ナットやボルトのねじ山の劣化) などのため、接続圧が低くなることがあります。また接続圧が高すぎる場合もあります。負荷と温度が上昇するにつれて、材料の降伏点が超過し、圧力が弱くなることがあります。

左下の画像は、ボルトのゆるみのために接触が悪くなった例を示しています。接触が悪い箇所は非常に限られていますが、非常に小さいスポットで温度状況が起こり、熱が接続ケーブルに沿って広がります。ねじの放射率が低いと、絶縁ケーブル (高い放射率を持つ) の絶縁材よりも温度が少し低くなることに注意してください。

左下の画像は、別の過熱の状況を示しています。これも悪い接触が原因です。屋外の接続です。風による冷却効果にさらされているため、屋内に設置された場合は、過熱される温度はさらに高くなります。

10714203;a3

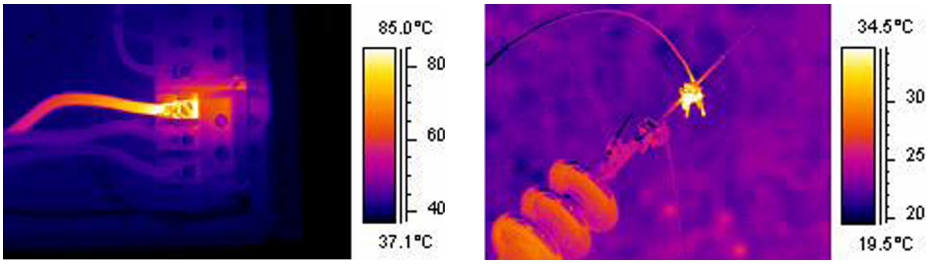


図 **17.16** 左: ボルトの緩んだために接続が悪くなっている部分の熱画像、右: 屋外の接続が悪い部分。風の冷却効果にさらされている

17.5.7 一方の欠陥による他方の過熱

問題がない構成部分に過熱が発生することがあります。この理由は、2つの導体が同じ負荷を共有していることです。一方の導体の抵抗が上昇し、他方は問題ありません。このため、欠陥のある構成部分の負荷が低くなり、正常なほうの負荷が高くなります。この負荷が高すぎると温度が上昇してしまいます。画像を参照してください。

10714303;a3

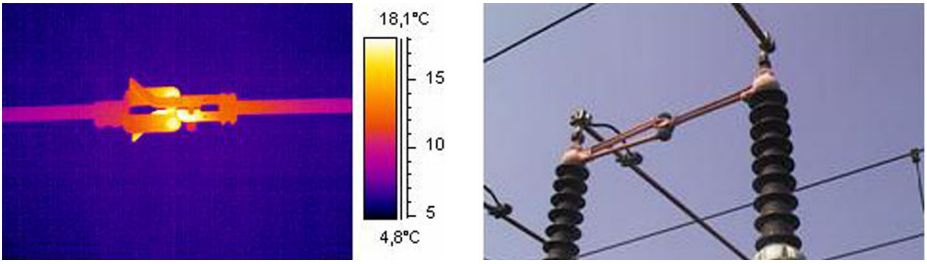


図 **17.17** 回路ブレーカーの過熱

回路ブレーカーの過熱は、多くの場合、導体つまみ部分の接続が悪いために発生します。このため、つまみから遠い部分に高い電流が流れ過熱します。熱画像と写真の構成部分は異なりますが、似ています。

17.6 電気設備のサーモグラフィー検査の障害係数

異なる種類の電気設備のサーモグラフィー検査中、風、対象との距離、雨や雪などの障害係数が測定結果に影響を及ぼすことがしばしばあります。

17.6.1 風

屋外検査の間、風による冷却効果を考慮に入れる必要があります。風速が 5 m/s での過熱の測定結果は、大体 1 m/s での測定結果の 2 倍になります。風速が 8 m/s での超過温度の測定結果は、大体 1 m/s での測定結果の 2.5 倍になります。この補正係数は 8 m/s まで適用可能です (測定経験に基づく)。

ただし、風が 8 m/s より強い場合でも検査を実行しなければならないことがあります。世界には、島や山など風が強い場所はたくさんあります。そのため、測定された過熱の結果が風速が低いところではかなり高くなることを知っておくことは大切です。経験則による補正係数を次に示します。

風速 **(m/s)**	風速 **(**ノット**)**	補正係数
1	2	1
2	4	1.36
3	6	1.64
4	8	1.86
5	10	2.06
6	12	2.23
7	14	2.40
8	16	2.54

測定された過熱を補正係数で乗算すると、無風状態のとき、つまり 1 m/s のときの超過温度になります。

17.6.2 雨および雪

雨や雪も電気設備に対して冷却効果があります。サーモグラフィー測定は、乾いた少量の降雪、および霧雨の間でも、満足の行く結果を示しています。大雪や大雨の場合には、画像の品質が落ちるため、信頼性のある測定を行うことは不可能です。この主な理由は、大雪や大雨は赤外線を通さないため、雪片や雨滴の温度が測定されてしまうことです。

17.6.3 対象との距離

この画像は、欠陥のある接続の上空 20 メートルから撮影されたものです。距離は誤って 1 メートルに設定されており、温度は +37.9°C と測定されています。その後、距離を 20 メートルに変更すると、右側の画像が示すとおり補正

された温度は +38.8°C になります。距離は重大な要素であり、さらに重要な問題の原因になります。そのため、距離の設定は正確に行うべきであり、無視すべきではありません。

10714403;a3

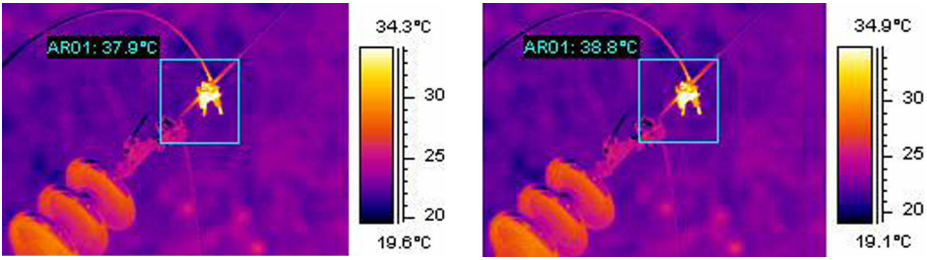


図 **17.18** 左: 不正確な距離設定、右: 正確な距離設定

以下の画像は、+85°C 黒体から読み取られた温度で、距離を遠くなっていったものです。

10714503;a3

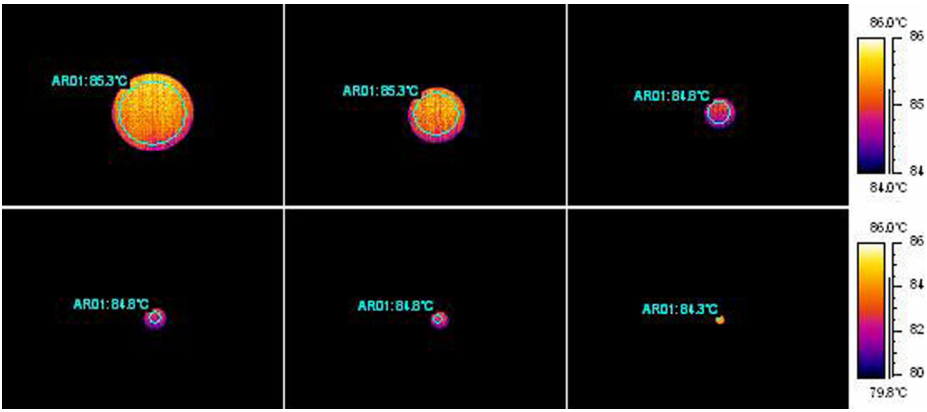


図 **17.19** 距離を遠ざけながら +85°C 黒体から読み取った温度

測定された平均温度は、左から右に +85.3°C、+85.3°C、+84.8°C、+84.8°C、+84.8°C および +84.3°C です。黒体の温度は +85°C です。12 レンズでサーモグラフが撮影されています。距離は、1、2、3、4、5 および 10 メートルです。対象は測定を補正するのに十分の大きさであるため、距離の補正は細心に行われており、それが機能しています。

17.6.4 オブジェクト サイズ

以下の 2 番目の一連の画像は同じですが、ノーマルの 24 レンズで撮影しています。ここで、測定された平均温度は、左から右に +85°C、+84.2°C、+83.7°C、+83.3°C、+83.3°C、+83.4°C および +78.4°C です。

最後の値 (+78.4°C) は最大温度です。黒体画像が非常に小さくなっているため、円の中に置くことができなくなっています。明らかに、対象が小さすぎると正確に測定することは不可能になります。距離は、適切に 10 メートルに設定されています。

10714603;a3

図 **17.20** 距離を遠ざけながら +85°C 黒体から読み取った温度 (24 レンズ)

この効果の理由は、対象が正確な温度を測定できる最小のサイズであることです。この最小サイズは、すべての FLIR Systems カメラでユーザーに示されます。以下の画像は、カメラ モデル 695 でビュー ファインダーに表示される画像を示しています。スポット メーターが中間で開いており、右側で詳細を間単に見ることができます。対象のサイズは、開いているまたは最も近い冷たい物体よりも大きい必要があります。これにより、読み取り値は低くなりますが、測定できます。上の状況では、対象は点の形で、周囲よりもかなり高い温度であり、読み取られた温度値はかなり低くなります。

10714703;a3

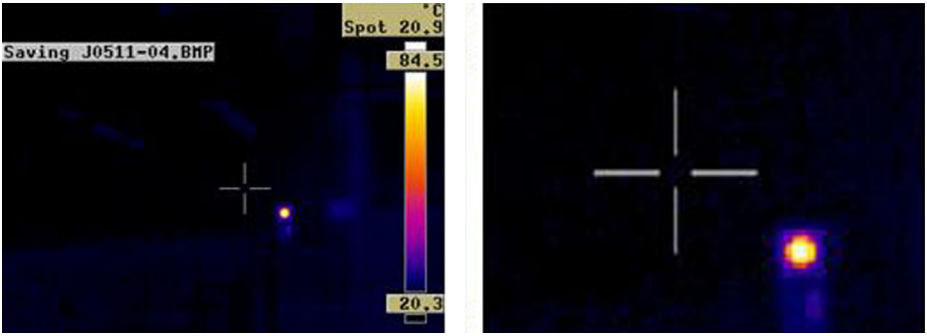


図 **17.21** ThermaCAM 695 のビュー ファインダーからの画像

この効果は、光が不十分であることと、検出素子のサイズによります。これは、すべての赤外線カメラで典型的なもので、避けることはできません。

17.7 サーモグラフィー検査者への実際的なアドバイス

カメラを実際的な方法で使うと、作業を簡単にする小さなことを見つけることができます。はじめに、そのうちの 5 個を紹介します。

17.7.1 冷から熱へ

カメラを持って +5°C のところにいます。作業を続けるには、今室内で検査を行う必要があります。めがねをかけている場合は、凝縮した水分をふき取ることに慣れているでしょう。そうしない場合は、何も見ることができません。カメラでも同じことが起こります。正確に測定するには、カメラが十分に温まって、曇りがなくなるまで待つ必要があります。これにより、室内の温度補正システムを変更した条件にすることもできます。

17.7.2 雨

雨が降ってきた場合は、検査を続けるべきではありません。雨水が測定している対象の表面温度を大きく変えてしまうからです。それにもかかわらず、カメラを雨や水がはねる状況で使用する必要がある場合があります。カメラを透明のポリエチレンの袋などで保護してください。プラスチックの袋によって発生した減衰を補正してください。袋がない場合の温度と同じになるように対象の温度を調整して減衰を補正します。カメラモデルの中には、別の [**外部光学系透過率**] の入力オプションがあるものがあります。

17.7.3 放射率

測定している材料の放射率を決定する必要があります。ほとんどの場合、表に値はありません。光学的に黒く Nextel Black Velvet を塗ります。作業する材料の一部を塗ります。光学ペイントの透過率は、通常 0.94 です。対象には温度がある必要があります。その温度は周囲温度と異なっています (通常は高い)。温度差が大きいほど、放射率計算の精度が向上します。温度差は、最低 20°C ある必要があります。800°C までの非常な高温までサポートするペイントがあることを覚えていてください。ただし、放射率は光学的jに黒のペイントよりも低くなります。

測定している対象にペイントを塗ることができないことがあります。このような場合には、テープを使用します。すでに放射率を特定した薄いテープを使うのは非常に役立ちます。測定後、測定対象からテープをはがせば、対象を傷つけることはありません。テープの中には、半透明のものもありこの目的に適さない場合があることにご注意ください。Scotch の電気テープは、屋外および氷点下においてこの目的で使用するに最も適したものの 1 つです。

17.7.4 反射見かけ温度

測定に影響を与えるいくつかのホット スポットがある状況で測定する場合があります。反射見かけ温度をカメラに入力して、最適な補正をして正しい値が測定できるようにする必要があります。このようにするには、放射率を 1.0 に設定します。カメラ レンズを調整して焦点をほとんど合わせてから、対象の反対側に向けて画像を 1 枚保存します。エリアまたはアイソサーモで、最も可能性のある画像の平均の値を決定します。その値を反射見かけ温度の入力に使用します。

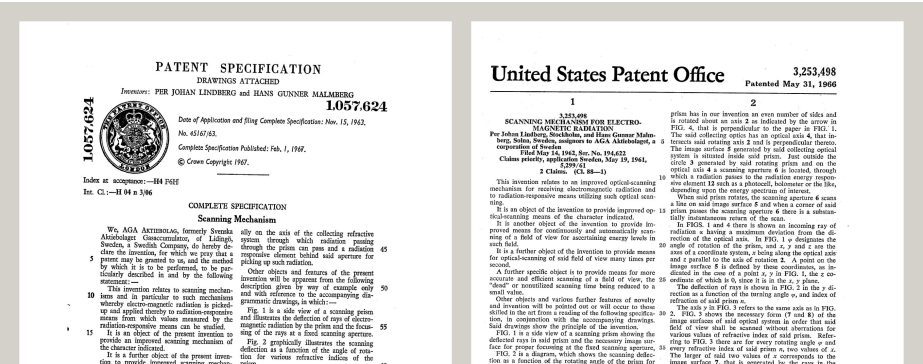
17.7.5 対象が遠くにあり過ぎる

お使いのカメラが正確な距離を測定しているか疑わしくなることがありますか? レンズについての経験から言って、 IFOV の 3 倍です (IFOV とは、1 つの検出素子で見るオブジェクトの詳細です)。例: 25 度は 437 ミリラドに対応します。カメラに 120 x 120 ピクセル画像がある場合、IFOV は 437/120 = 3.6 ミリラド (3.6mm/m) になり、スポット サイズ比は約 1000/(3 x 3.6)=92.1 となります。これは、9.2 メートルの距離で、対象が 0.1 メートル、つまり 100 mm である必要があることを示しています。9 メートルより近づくことにより、安全に作業するようにしてください。7 ～8 メートルで、測定値は正確になります。

18 FLIR Systems 情報

FLIR Systemsは、高性能の赤外線イメージングシステム開発のパイオニアとして1978年に創立され、商業、工業、官庁用のさまざまなアプリケーションに応じたサーマルイメージングシステムのデザイン、製造、販売で世界をリードしています。現在、FLIR Systemsには1958年以来赤外線技術ですぐれた業績をあげている5つの大きな会社が統合されています - スウェーデンのAGEMA Infrared Systems (旧社名 AGA Infrared Systems)、米国の3つの会社 Indigo Systems、FSI、Inframetrics、およびフランスのCedip社です。 2007年11月には、Extech InstrumentsがFLIR Systemsに買収されました。

T638608;a1



PATENT SPECIFICATION

DRAWINGS ATTACHED

Inventors: PER JOHAN LINDBERG and HANS GUNNER MALMBERG

1.057.624

1057.624

Date of Application and filing Complete Specification: Nov. 15, 1962.

No. 45167/63.

Complete Specification Published: Feb. 1, 1968.

© Crown Copyright 1967.

Index at acceptance:—H04 P6H

Int. Cl.:—H 04 n 3/06

COMPLETE SPECIFICATION

Scanning Mechanism

We, AGA AKTIEBOLAG, formerly Svenska Aktiebolaget Gasaccumulator, of Lidingö, Sweden, a Swedish Company, do hereby declare the invention, for which we pray that a patent may be granted to us, and the method by which it is to be performed, to be particularly described in and by the following statement:—

This invention relates to scanning mechanisms and in particular to such mechanisms whereby electro-magnetic radiation is picked-up and applied thereby to radiation-responsive means from which videos measured by the radiation-responsive means can be studied.

It is an object of the present invention to provide an improved scanning mechanism of the character indicated.

It is a further object of the present invention to provide improved scanning mechanism for continuously and automatically scanning a field of view for ascertaining the energy levels in such field.

It is a still further object of the present invention to provide a scanning mechanism for rapid scanning of a field.

A still further object of the present invention is to provide a scanning mechanism whereby, for continuous scanning, the retrace time is a relatively small value.

According to the present invention there is provided a scanning mechanism for receiving electromagnetic radiation within the optical, infra-red or ultra violet regions of the electromagnetic spectrum which includes a refracting prism adapted to be rotated about its longitudinal axis the end faces of the prism being polygons, each of which polygon has an even number of sides, of which opposite sides are parallel; a collecting refractive system having an image surface within the prism the axis of which system intersects the longitudinal axis of the prism; an aperture situated substantially on the axis of the collecting refractive system through which radiation passing through the prism can pass and a radiation responsive element behind said aperture for picking up such radiation.

Other objects and features of the present invention will be apparent from the following description given by way of example only and with reference to the accompanying diagrammatic drawings, in which:—

Fig. 1 is a side view of a scanning prism and illustrates the deflection of rays of electromagnetic radiation by the prism and the focusing of the rays at a fixed scanning aperture.

Fig. 2 graphically illustrates the scanning deflection as a function of the angle of rotation for various refractive indices of the prism.

Fig. 3 is a view showing the parazial image surface for rays in two perpendicular planes for different indices of refraction of the prism.

The scanning mechanism of the present invention is particularly applicable to receiving electromagnetic radiation within the optical, ultra violet or infra-red regions of the electromagnetic spectrum, the incoming radiation being focused on a radiation-responsive element, which may be of a kind well known in the art and as such is not shown in the drawings.

Hitherto the main difficulty in achieving high scanning speeds has been of a mechanical nature. The present invention uses a rotating refractive prism for fast scanning in one direction; scanning perpendicular to this direction is slower and can be accomplished by other means, for example as by an oscillating mirror in the collecting optics. This slower scanning can also be accomplished by tilting the rotating axis of the prism. This

[Pre

United States Patent Office

3,253,498

Patented May 31, 1966

1

2

3,253,498

SCANNING MECHANISM FOR ELECTROMAGNETIC RADIATION

Per Johan Lindberg, Stockholm, and Hans Gunnar Malmberg, Solna, Sweden, assignors to AGA Aktiebolaget, a corporation of Sweden

Filed May 14, 1963, Ser. No. 194,622

Claims priority, application Sweden, May 19, 1961, 5,299/61

2 Claims. (Cl. 88—1)

This invention relates to an improved optical-scanning mechanism for receiving electromagnetic radiation and to radiation-responsive means utilizing such optical scanning.

It is an object of the invention to provide improved optical-scanning means of the character indicated.

It is another object of the invention to provide improved means for continuously and automatically scanning of a field of view for ascertaining energy levels in such field.

It is a further object of the invention to provide means for optical-scanning of said field of view many times per second.

A further specific object is to provide means for more accurate and efficient scanning of a field of view, the "dead" or nonutilized scanning time being reduced to a small value.

Other objects and various further features of novelty and invention will be pointed out or will occur to those skilled in the art from a reading of the following specification, in conjunction with the accompanying drawings. Said drawings show the principle of the invention.

FIG. 1 is a side view of a scanning prism showing the deflected rays in said prism and the necessary image surface for proper focussing at the fixed scanning aperture, 5

FIG. 2 is a diagram, which shows the scanning deflection as a function of the angle of rotation for various refractive indices of the prism,

FIG. 3 is a view showing the parazial image surface for rays in two mutually perpendicular planes for different indices of refraction of said prism,

FIG. 4 is a side view showing the essential components of a scanning mechanism, and

FIG. 5 is a perspective view of a particular form of a scanning prism.

Briefly stated, our invention is in the following specification described as an arrangement for scanning a field of view, where the incoming radiation is focused on a radiation-responsive element.

The main difficulty of scanning a field of view in a short time is of mechanical nature. Our invention uses a rotating refractive prism for scanning in one direction. Scanning in a direction substantially perpendicular to said direction is slower than in the first mentioned direction and is accomplished by other means, as by a nodding mirror in the collecting optics. Said slower scanning can also be accomplished by tilting the rotating axis of said prism. The resulting scanning pattern is like the pattern of common television.

Said prism can be rotated very rapidly according to our invention and several thousands of scans per second can be accomplished. In this way our invention allows complete scanning of said field of view many times per second exceeding the frame frequency of ordinary motion pictures.

Referring to the drawings the arrangement according to our invention is characterized by an image surface generated inside the circumscribed circle of said prism by a collecting optics 9 in FIGURE 4. Said prism is in our invention of the form of a plane parallel refractive prism, which is in one case 5 shown in FIG. 1. Said prism has in our invention an even number of sides and is rotated about an axis 2 as indicated by the arrow in FIG. 4, but is perpendicular to the paper in FIG. 1. The said collecting optics has an optical axis 4, that intersects said rotating axis 2 and is perpendicular thereto. The image surface 8 generated by said collecting optical system is situated inside said prism. Just outside the circle 3 generated by said rotating prism and on the optical axis 4 a scanning aperture 6 is located, through which a radiation passes to the radiation energy responsive element 12 such as a photocell, bolometer or the like, depending upon the energy spectrum of interest.

When said prism rotates, the scanning aperture 6 scans a line on said image surface 8 and when a corner of said prism passes the scanning aperture 6 there is a substantially instantaneous return of the scan.

In FIGS. 1 and 4 there is shown an incoming ray of radiation a having a maximum deviation from the direction of the optical axis. In FIG. 1 φ designates the angle of rotation of the prism, and x, y and z are the axes of a coordinate system, x being along the optical axis and z parallel to the axis of rotation 2. A point on the image surface 8 is defined by these coordinates, as indicated in the case of a point x, y in FIG. 1, the z coordinate of which is 0, since it is in the x, y plane.

The deflection of rays is shown in FIG. 2 in the y direction as a function of the turning angle φ, and index of refraction of said prism n.

The axis y in FIG. 3 refers to the same axis as in FIG. 2. FIG. 3 shows the necessary focus (7 and 8) of the image surfaces of said optical system in order that said field of view shall be scanned without aberrations for various values of refractive index of said prism. Referring to FIG. 3 there are for every rotating angle φ and every refractive index of said prism n, two values of x. The larger of said two values of x corresponds to the image surface 7, that is generated by the rays in the plane of the paper i.e. the x, y plane and forming small angles with the x-axis. The smaller value of x corresponds to the image surface 8, that is generated by the rays, which are parallel with the x-z plane and form small angles with the x-y plane.

It is apparent from FIG. 3 that the aberrations, which are caused by the prism, can be neutralized to a substantial degree by a suitable choice of image surface. In this way it is possible according to our invention to obtain a substantial resolution in the optical scanning.

It is preferable if the refractive index of said prism has a value between 3 and 4 for the wave length used. Said index of refraction having a value of about 4 is specially advantageous both for yielding a small size and for allowing a relatively plane image surface. This is pointed out in FIG. 2 and FIG. 3. As is also shown in FIG. 2 a larger index of refraction of said prism gives a greater field of view.

The material of said prism must in our invention be transparent for radiation in the energy spectrum of interest and it is preferable if the sides of said prism are coated with a suitable material in order to reduce reflections.

The entry area of the rays coming from said optical system for varying turning angles φ does not extend near the corners of said prism in our invention which may therefore be cutoff. This improves both the air resistance and the mechanical strength of the prism.

When said prism rotates and the scanning in the other direction is accomplished by a nodding mirror optics the radiation energy responsive element 12 from said field of view for various energy levels in said field of view output signals from said element are amplified and filtered and may be used to modulate the intensity of a moving spot on a cathode ray tube. The movement of said

図 **18.1** 1960 年代前半からの特許文書

当社は、予測メンテナンス、研究開発、非破壊検査、プロセス制御とオートメーション、マシンビジョン、その他多くのアプリケーション用に、世界各地で100,000台以上の赤外線カメラを販売してきました。

FLIR Systemsは、アメリカに3つ(オレゴン州ポートランド、マサチューセッツ州ボストン、カリフォルニア州サンタバーバラ)、スウェーデン(ストックホルム)に1つの製造工場があります。2007年には、エストニアのタリンにも製造工場が建設されました。ベルギー、ブラジル、中国、フランス、ドイツ、イギリ

ス、香港、イタリア、日本、韓国、スウェーデン、アメリカに直轄の営業所を置き、世界中に張り巡らされた代理店のネットワークと共に国際的なお客様をサポートしています。

FLIR Systems は赤外線カメラ産業の革新を牽引してきました。既存のカメラの向上、新しいカメラの開発を継続的に続けることにより、市場需要を先取りしています。例を挙げると、産業検査用の初めてのバッテリー駆動のポータブルカメラ、初めての非冷却式赤外線カメラなどです。

10722703;a2

図 **18.2** 左Thermovision® Model 661、1969年発売カメラの重量は約25 kg (55 lb.)、オシロスコープは20 kg (44 lb.)、三脚は15 kg (33 lb.)です。オペレータは220 VACジェネレーターセットと、液体窒素の入った10 L (2.6 USガロン) 容器も必要です。オシロスコープの左側には、ポラロイドのアタッチメント (6 kg/13 lb.)があります。右**:** FLIR i7、2009年発売重量:0.34 kg (0.75 lb.)、バッテリーを含む

FLIR Systems は、カメラ システムの重要機構および電子部品をすべての自社製造しています。検出素子設計、レンズおよび電子システムの製造から、最終検査およびキャリブレーションまで、すべての生産プロセスは当社の技術者が実行し、指揮しています。これらの赤外線の専門家の豊富な経験により、赤外線カメラを構成するすべての部品の正確さと信頼性が確証されています。

18.1 赤外線カメラを超える機能

FLIR Systems は、高性能の赤外線カメラ システムを生産する以上のことが求められていることを認識しています。当社の使命は、最高のカメラとソフトウェアを提供することにより、当社の赤外線カメラ システムを利用するすべてのユーザーの生産性を向上することです。予測メンテナンス用のカスタムソフトウェアについては、研究開発およびプロセス監視を社内で行っています。ほとんどのソフトウェアは、多数の言語で使用可能です。

すべての赤外線カメラに付属品を提供し、サポートしており、必要な赤外線の用途に応じて機器を適合させることができます。

18.2 知識の共有

当社のカメラは使いやすく設計されていますが、使い方に加えて、サーモグラフィについての知識を得ることも重要です。そのため、FLIR Systems は、独立した Infrared Training Center (ITC) を設立し、認定トレーニング コースを提供しています。ITC のコースに参加することにより、実践に基づいた専門知識を学ぶことができます。

ITC のスタッフは、赤外線理論を実行するために必要な適用サポートの提供も行っております。

18.3 カスタマー サポート

FLIR Systems は、世界的なサービス ネットワークを運営して、お客様のカメラがいつでも動作できるようにサポートしています。 カメラに問題がある場合は、お近くのサービス センターにある機器やノウハウを活用して、できる限り短い時間で問題を解決します。 そのため、カメラを遠方 (地球の反対側) に郵送したり、言葉の通じない担当者に問い合わせる必要はありません。

18.4 当社の製造・開発現場から

10401303;a1

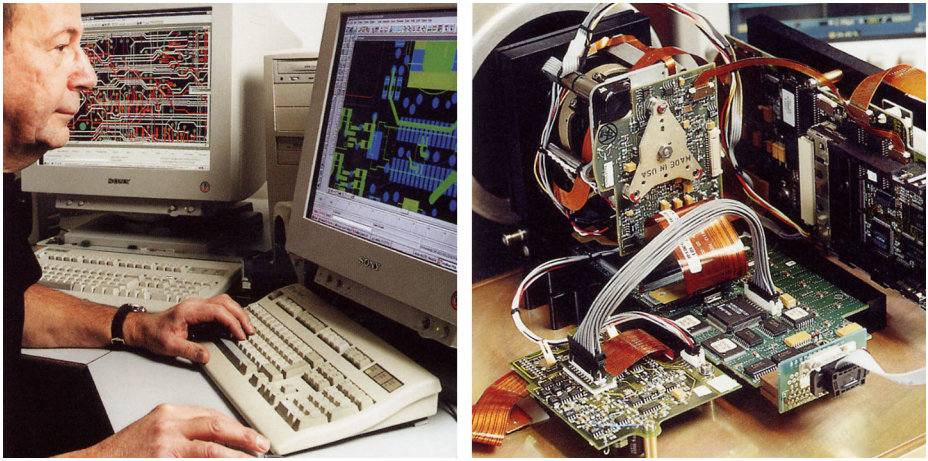


図 **18.3** 左: システム エレクトロニクスの開発。右： FPA 検出素子

10401403;a1

図 **18.4** 左: ダイアモンド回転機械。右： レンズ磨き

10401503;a1

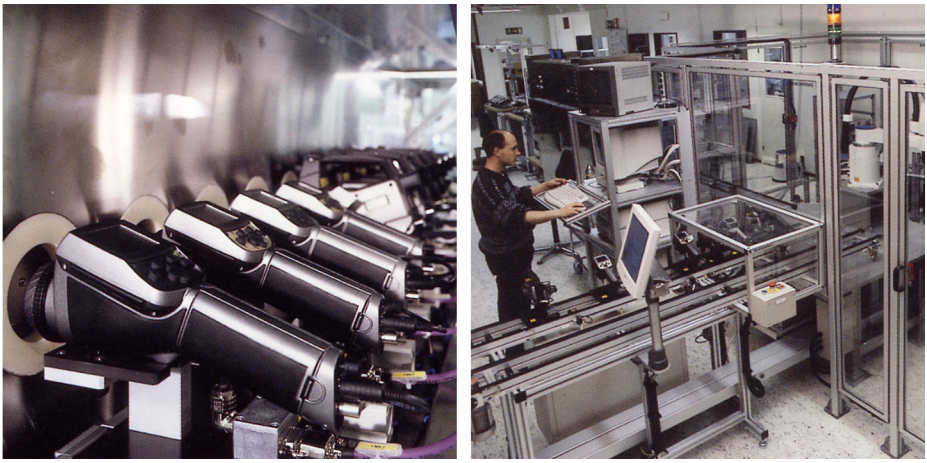


図 **18.5** 左:気候室での赤外線カメラの試験。右：カメラテストおよびキャリブレーション用ロボット

19 用語集

用語または表現	説明
FOV	視野。IR レンズを通して見ることのできる水平角です。
FPA	焦点面アレイ。IR 検出素子の一種です。
IFOV	瞬間視野。IR カメラの幾何学的分解能の単位です。
IR	赤外線
Laser LocatIR	カメラ前方のオブジェクトの特定箇所に当てるための、細く集束されたレーザー ビームを放射する電気光源です。
NETD	ノイズと等価になる温度差です。IR カメラの画像ノイズ レベルの単位です。
アイソサーモ	1℃ またはそれ以上の間隔で、温度の上側、下側、または中間をハイライトする機能です。
アイソサーモ空洞	一様な温度を持つ瓶の形をした放熱体です。瓶首から中を見ることができます。
オブジェクト パラメータ	対象物の測定が行われた環境、および対象物そのものを説明する値一式のことです（たとえば、放射率、反射見かけ温度、距離）。
オブジェクト信号	オブジェクトからカメラが受けた放射の量に関連する、キャリブレーションされていない値のことです。
サチュレーション カラー	外部温度の現在のレベルおよび間隔設定を含む領域がサチュレーション カラーで色づけされます。'アンダーフロー' カラーおよび 'オーバーフロー' カラーを含むサチュレーション カラーです。変更が必要と思われる領域を示す、検出器によって飽和されたすべての部分にしるしを付ける、3 つ目の赤色サチュレーション カラーも含まれます。
サーモグラム	熱画像
スペクトル放射	単位時間、単位波長あたりにオブジェクトから放射されるエネルギー量 ($W/m^2/m$) です。
デュアル アイソサーモ	1 つではなく、2 つのカラーバンドのアイソサーモです。
ノイズ	熱画像の望ましくない小さな障害です。
パレット	IR 画像を表示するために使用する色一式です。
ピクセル	「画像要素」を表してします。画像のスポット 1 つ 1 つのことです。
フィルタ	特定の赤外線波長域のみ透過する材料です。

用語または表現	説明
レベル	温度目盛の中間値です。通常は、信号値として表現されます。
レンジ	IR カメラの現在の全体的な温度測定の限定されたレンジです。カメラにはいくつかのレンジがあります。現在のキャリブレーションを制限する 2 つの黒体温度によって表されます。
レーザー ポインター	カメラ前方のオブジェクトの特定箇所に当てるための、細く集束されたレーザー ビームを放射する電気光源です。
伝導	材料に熱が拡散されている過程のことです。
反射	オブジェクトによって反射された放射量と受けた放射との割合0 から 1 の間の数値になります。
可視像	IR カメラのビデオ モードです。ノーマル、つまりサーモグラフィ モードとは異なります。カメラがビデオ モードに設定されていると、通常のビデオ画像を記録します。カメラが IR モードに設定されていると、サーモグラフィ画像が記録されます。
吸収 (吸収率)	オブジェクトによって吸収された放射量と受けた放射との割合0 から 1 の間の数値になります。
基準温度	通常どおり測定された値と比較できる温度のことです。
外部光学系	外部レンズ、フィルタ、熱シールドなど、カメラと測定されているオブジェクトの間に取り付けられ部品のことです。
大気	測定されているオブジェクトとカメラの間のガス、通常は空気です。
大気透過率の予測値	ユーザーから提供される透過率値です。計算値に置き換えられます。
大気透過率の計算値	気温、空気の相対湿度、およびオブジェクトとの距離から計算された透過率の値です。
対流	重力または別の力によって流体が動き、この動きによって、ある場所から別の場所に熱が伝わる伝熱方式です。
手動調整	手動で特定のパラメータを変更して、画像を調整する方法です。
放射	オブジェクトまたはガスから電磁エネルギーが放射される過程です。
放射 (放射率)	オブジェクトから出た放射量と黒体の受けた放射量との割合0 から 1 の間の数値になります。

用語または表現	説明
放射力	単位時間、単位領域あたりにオブジェクトから放射されるエネルギー量 (W/m²) です。
放射強度	単位時間、単位領域あたりにオブジェクトから放射されるエネルギー量 (W) です。
放射量	単位時間、単位領域あたりにオブジェクトから放射されるエネルギー量 (W/m²/sr) です。
放熱体	IR 放熱設備一式です。
温度スケール	IR 画像を現在表示している方法です。色を制限する 2 つの温度値として表されます。
温度レンジ	IR カメラの現在の全体的な温度測定の限定されたレンジです。カメラにはいくつかのレンジがあります。現在のキャリブレーションを制限する 2 つの黒体温度によって表されます。
温度差または温度の違い	減算によって求められた 2 つの温度の差の値です。
灰色体	各波長域で黒体のエネルギーと一定の比率のエネルギーを放射する物体のことです。
環境	測定されているオブジェクトに対して放出しているオブジェクトまたはガスです。
画像補正 (内部または外部)	撮影画像のさまざまな部分の検出感度の違いを補正したり、カメラの安定性を補正する方法です。
相対湿度	現在の空気中の水蒸気の質量と飽和状態で空気中に含まれる最大質量の比率を表す相対湿度。
空洞放射体	内側に吸収剤がついている瓶の形をした放熱体です。瓶首から中を見ることができます。
自動パレット	IR 画像が不規則な色の広がりを示して、冷たいオブジェクトと温かいオブジェクトを同時に表示している状態です。
自動調整	内部画像補正をカメラに実行させる機能です。
色温度	黒体の色の温度と特定の色が一致しています。
赤外線	不可視放射線です。波長は 2–13 µm です。
透過アイソサーモ	色の線形的な広がりを示すアイソサーモです。画像のハイライトされた部分を示すのではありません。
透過率	透過率はガスや材料によって異なります。透過率は、IR 放射が通過する量です。0 から 1 の間の数値になります。
連続アジャスト	画像を調整する機能です。この機能は常に動作し、画像の内容によって連続的に明るさとコントラストを調整します。

用語または表現	説明
間隔	温度目盛の間隔の値です。通常は、信号値として表現されます。
黒体	まったく反射しないオブジェクトのことです。放射はすべて自身の温度によるものです。
黒体放射	黒体特性を持つ IR 放射装置は、IR カメラのキャリブレーションに使用されます。

20 熱測定技術

20.1 はじめに

赤外線カメラは物体から放出された赤外線を測定、撮像します。赤外線は物体表面温度の作用であるため、カメラはこの温度を計算し表示することができます。

ただし、カメラが測定した赤外線は物体の温度のみではなく、放射率によっても作用します。赤外線は周辺からも発生して物体に反射します。物体からの赤外線と反射した赤外線は、大気の吸収作用にも影響を受けます。

このため、温度を正確に測定するには多数の異なる放射元の効果を補正する必要があります。この補正はカメラによってオンラインで自動的に行われます。ただし、カメラに以下のオブジェクトパラメータを提供する必要があります。

- 物体の放射率
- 反射源見かけ温度
- 物体とカメラの距離
- 相対湿度
- 大気の温度

20.2 放射率

正確に設定すべき最も重要なオブジェクトパラメーターは放射率、つまり、同じ温度の完全黒体と比較して物体からどの程度の赤外線が発射されているかを表す測定値です。

通常、物体の素材と表面処理によって放射率は約0.1から0.95の範囲で表されます。高精度に研磨された表面 (ミラー) では 0.1 未満になることもあり、また、酸化したりペイントされた表面では高い放射率を持つ場合もあります。可視スペクトルにおける色に関わらず、油性ペイントの赤外線の放射率は0.9を超えます。人間の皮膚の放射率はほぼ 0.97 から 0.98 です。

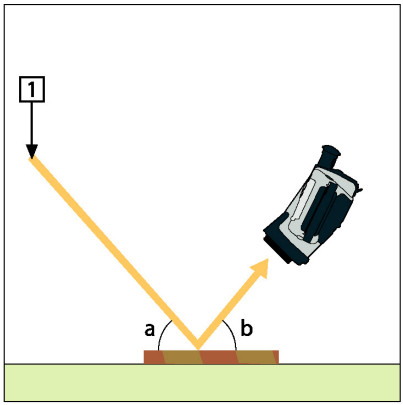
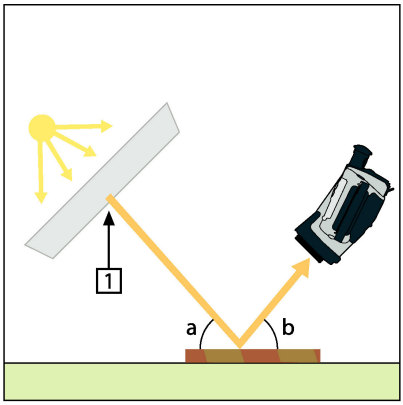
酸化していない金属の場合、完全な不透明性と高い反射性という極端なケースを示し、波長によって大きく異なることはありません。そのため、金属の放射率は低くなります。ただし、金属の放射率は温度に比例して増加します。非金属の場合、放射率は高くなりがちで、温度に比例して減少します。

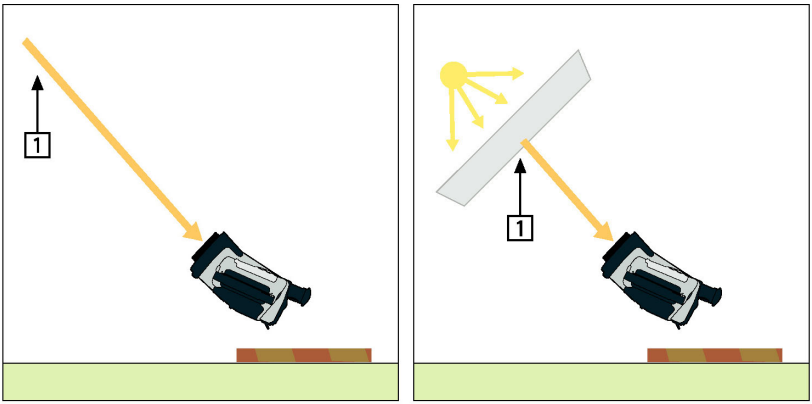
20.2.1 サンプルの放射率を見つける

20.2.1.1 ステップ*1*： 反射された明らかな温度の決定

下記の2つの方法のうちいずれかを使用して、反射見かけ温度を決定します。

20.2.1.1.1 方法 1： 直接法

1	入射角＝反射角 (a = b)を考慮し、考えられる反射源を探してください。 10588903;a1  図 **20.1** 1 ＝反射源
2	反射源がスポット源の場合、ダンボールなどで遮って反射源を修正してください。 10589103;a2  図 **20.2** 1 ＝反射源

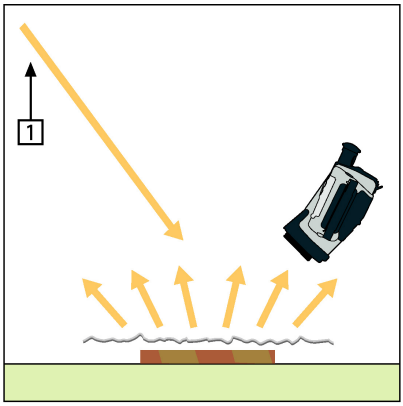
3	以下の設定を使って、反射源からの放射線の強度 (= 見かけ温度) を計測します。 ■ 放射率： 1.0 ■ D_{obj}： 0 次の 2 つの方法のいずれかを使用して、放射線の強度を測定できます。 10589003;a2  図 **20.3** 1 ＝反射源

注：熱電対を使って反射見かけ温度を計測するのは2つの重要な理由からお勧めできません。

- 熱電対は放射線の強度を計測しない
- 熱電対は表面に非常に良い熱接触を必要とし、それは通常、熱アイソレーターによってセンサーを糊付け及びカバーして行われる。

20.2.1.1.2 方法 *2*：反射法

1	アルミホイルの大きなシートを細かくします。
2	細かくしないアルミホイルを同じサイズのボール紙に貼り付けます。
3	測定する物体の前に、そのボール紙を置きます。アルミホイルが貼られている面がカメラの側を向いていることを確認します。
4	放射率を 1.0 に設定します。

5	アルミホイルの反射温度を測定し、記録します。 10727003;a2  図 **20.4** アルミホイルの見かけ温度を測定します。

20.2.1.2 ステップ*2*： 放射率の決定

1	サンプルを置く場所を選択してください。
2	以前の手順に応じて、反射された明らかな温度を決定及び設定してください。
3	サンプル上に高い放射率を持つ電子テープを置いてください。
4	サンプルを最低、室温より20K暖めてください。 温めるのは均等でなくてはなりません。
5	カメラをフォーカス及び自動調整し、画像をフリーズします。
6	**レベル**と**スパン**を画像の最高の明るさとコントラスト用に調整します。
7	テープの放射率に設定します (通常 0.97)。
8	以下の計測機能のひとつを使って、テープの温度を計測してください。 ▪ **アイソサーモ**（温度の測定と、サンプルが均等に温まっていることの確認の両方に有用） ▪ **スポット** （より単純） ▪ **ボックス Avg** （異なる放射率を持つ表面に最適）
9	温度を記録します。
10	計測機能をサンプル表面に動かします。
11	以前の計測と同じ温度になるまで放射率設定を変更してください。
12	放射率を記録します。

注：

- 無理な対流は避けてください。
- スポット反射を発生しない熱的に安定した環境を探してください。
- 不透明で、高い放射率を持つテープを使ってください。
- この方法はテープとサンプルの表面が同じ温度であることを条件とします。同じでない場合、放射率の計測が間違っていることになります。

20.3 反射見かけ温度

このパラメータは、物体が反射する放射を補正するために使用されます。放射率が低く、物体の温度が反射温度と比較的大きく異なっている場合、反射温度を正しく設定し、反射見かけ温度を正しく補正することが重要です。

20.4 距離

距離とは、物体とカメラの前面レンズとの間の距離を指します。このパラメータは、次の 2 つの事象を補正するために使用されます。

- 対象からの放射が物体とカメラの間の待機によって吸収される
- 大気そのものからの放射がカメラによって検出される

20.5 相対湿度

カメラは、伝達率が大気の相対湿度にいくらか依存しているという事象についても補正できます。この補正を行うには、相対湿度を正しい値に設定する必要があります。短距離および通常湿度の場合、相対湿度は通常、50% の初期値のままにしてかまいません。

20.6 その他のパラメータ

上記だけでなく、FLIR Systems 製のカメラおよび解析プログラムの中には、次のパラメータを補正できるものもあります。

- 大気温度 – つまり、カメラと対象物との間の大気の温度
- 外部光学系温度 – つまり、カメラ前面で使用される任意の外部レンズやウィンドウの温度
- 外部光学系透過率 – つまり、カメラ前面で使用される任意の外部レンズやウィンドウの伝達率

21 赤外線技術の歴史

1800 年まで、電磁波スペクトルに赤外線部分が存在することなど誰も想像していませんでした。熱放射の一種としての赤外線スペクトル (または「赤外線」) そのものの重要性は、Harschel によって 1800 年に赤外線部分が発見されたときよりも特筆すべきものではなくなっています。

10398703;a1

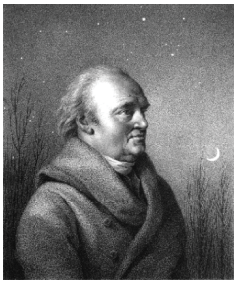


図 **21.1** William Herschel 卿 (1738–1822)

新しい光学材料の研究中に偶然発見されたものでした。William Herschel 卿 (イギリス王ジョージ三世の王室天文学者、天王星の発見で有名) は、太陽観測中に望遠鏡の太陽画像の明るさを低減するための光学フィルタ材料を研究していました。異なる色ガラスのサンプルでテストを行うと、明るさは同じように低減されていましたが、サンプルの中には太陽熱をほとんどまったく通さないことに興味をそそられました。それに対し、他のサンプルでは太陽熱をほとんど透過させ数秒観察するだけで目を損傷する危険があるほどでした。

Herschel は、熱を最大限に減少させると同時に明るさも希望通りに減少させるただ 1 つの素材を見つけるために、ただちに系統だった実験を行う必要あると確信しました。実験は、実際にニュートンのプリズム実験を繰り返す方法で始まりましたが、スペクトルの視覚的な光の分布強度よりも、加熱効果を探すものでした。まず、感度の高い水銀封入ガラス温度計のバルブをインクで黒くし、これを放射線検出器として使用して、太陽光をガラス プリズムに通すことで机の上にさまざまな色のスペクトルを形成させ、その加熱効果をテストしていきました。太陽光の外に置いた他の温度計は、制御の役目を果たしました。

黒くした温度計をスペクトルの色に沿ってゆっくり動かしていくと、青紫の端から赤い端へ向かうにしたがって、温度計の目盛りは一定に上昇していきました。これは、まったくの予想外の結果というわけではありませんでした。イタリアの研究者、Landriani が、すでに 1777 年に似たような実験を行い、同様の

結果を得ていたからです。ただし、Herschelの特筆すべき点は、加熱効果が最大に達するポイントがあるはずであり、スペクトルの可視部分に限定された測定では、このポイントの検索に失敗したと初めて気付いたことにあります。

10398903;a1

図 **21.2** Marsilio Landriani (1746–1815)

温度計を赤いスペクトルの端から暗い領域に動かしたところ、Herschelは温度が引き続き上昇することを確認しました。彼が発見した最高点は、赤色の端を越えたところにありました。これが今日「赤外線波長域」として知られている部分です。

Herschelがこの発見を発表したとき、彼は電磁波スペクトルのこの新しい領域を「熱スペクトル」と表現しました。 Herschel は、その放射そのものを「黒体熱」や単に「不可視光線」と呼びました。皮肉なことに、一般的な見方とは異なり、「赤外線」という用語はHerschelから発しているのではありません。その言葉は 75 年ほど後に印刷物に登場しましたが、依然としてだれから端を発しているかは分かっていません。

Herschel の初期実験でのプリズム ガラスの使用は、赤外線波長域の実在性について、当初同時代の研究者との間に論議を呼びました。別の研究者が、Herschel の研究を実証するため、いろいろな種類のガラスを見境なく使用して、赤外線部の異なる透明性を見出しました。彼の実験によって、Herschelは制限されたガラスの透明性から熱放射の新たな発見に気づきました。彼は、赤外線の研究が反射要素によって排他的に使用される運命にあると結論せざるを得ませんでした。幸いにも、イタリア人の研究者によって、彼の理論の正しさが証明されました。Melloni は、自然岩塩 (NaCl) が赤外線を通すことを発見しました。岩塩は、レンズやプリズムを作ることができるほど大きな天然の結晶です。この結果により、岩塩は主な赤外光学材料となり、1930 年に合成結晶成長の技術が習得されるまで 100 年ほどにわたって使用されました。

10399103;a1

図 **21.3** Macedonio Melloni (1798–1854)

温度計は、放熱検出器として 1829 年まで使用されました。この年に Nobili が熱電対を発明しました。(Herschel の温度計は 0.2 °C まで読むことができましたが、後のモデルでは 0.05 °C まで読むことができるようになりました)その後、飛躍的な進歩があり、Melloni が、複数の熱電対を接続して最初の熱電対列を作成しました。この新しい機器は、当時熱放射の検出に使用されていた温度計の 40 倍以上も感度が高いものでした。人からの熱を 3 メートル離れたところから検出する能力がありました。

初めての「熱写真」の撮影は、John Herschel の研究の結果 1840 年に可能になりました。John Herschel は赤外線の発見者および有名な天文学者の息子であり、親譲りの才能がありました。薄い油膜の蒸発の違いによって、露出した熱パターンを油膜に当てると、反射光によって熱画像を見ることができます。油膜の干渉効果によって肉眼で画像を確認できます。John は、紙に熱画像の簡単な記録を取ることも考案し、「サーモグラフ」と呼びました。

10399003;a2

図 **21.4** Samuel P. Langley (1834–1906)

赤外線検出器の感度の向上は、非常にゆっくりしたものでした。次の飛躍的な前進は、Langleyによるもので、1880年にボロメータが発明されました。この装置は、ホイートストン ブリッジ回路の 1 つのアームに接続された白金の黒い薄片で構成され、その上に赤外線が焦点を合わせ、それに対して感度の高い検流計が反応するものです。この装置では、400メートル離れたところにいる牛の熱を検出できたと言われています。

英国の科学者、James Dewar 卿は初めて液化ガスを冷却材 (たとえば、温度が -196 °C の液体窒素) として使用し、低温調査を行いました。1892 年に彼は特殊な真空断熱コンテナを発明し、液化ガスを数日保管できるようにしました。よく使われている「魔法瓶」は、彼の発明が元になっており、熱い飲み物や冷たい飲み物を保存しておくことができます。

1900年から1920年の間に、世界の発明者たちが赤外線を「発見」しました。多くの特許が、人、大砲、飛行機、船や氷山を検出する機器のために発行されました。近代において、最初の操作システムは 1914 年から 1918 年の戦争中に開発され始め、両陣営において軍事目的で赤外線の研究プログラムが進められました。これらのプログラムには、敵の侵入の検出、遠隔温度検出、確実な通信、ミサイル誘導のための実験的なシステムが含まれます。この期間にテストされた赤外線検知システムは、接近してくる飛行機であれば1.5キロメートル、人であれば300メートル離れたところから検出できました。

この時代までのほとんどの検知システムはボロメータのさまざまな概念を元にしたものでしたが、次の大戦までの期間に、画像変換機と光子検出器という2つの革新的な赤外線検出器が開発されました。当初、歴史上初めて見張りが実際の暗闇でも見ることができようになったため、軍事面から画像変換機は大きな注目を受けました。ただし、画像変換機の感度は赤外線波長域の付近に限定されており、ほとんどの軍事標的 (兵士など) は赤外線検出ビームで照らされている必要がありました。これは、見張りの場所を同じように装備している敵の見張りに明らかにしてしまう危険があったため、画像変換機への軍事面での関心が薄れていったのは当然のことと言えます。

「能動的」熱画像システム (検出ビームが必要) の軍事戦術的に不利な点によって、続く 1939 年から 1945 年までの戦争で研究に拍車がかかり、多くの軍事特殊機関が赤外線検知プログラムで、非常に繊細な光子検出機による「受動」システム (検出ビーム不要) を開発するようになりました。この期間は、軍事機密規則によって、熱画像技術の状況の公開が完全に禁止されるようになりました。1950 年半ばに機密が解除されるようになり、このときから民間の科学者や産業で、十分の熱画像機器がついに使用できるようになりました。

22 サーモグラフィの理論

22.1 はじめに

赤外線の被写体と関連するサーモグラフィ技術は、赤外線カメラを使用しようとしている多くの人々にとって未だ新しいままです。このセクションでは、サーモグラフィの背後にある理論について説明します。

22.2 電磁スペクトル

電磁スペクトルは、*バンド*と呼ばれる多数の波長領域に任意に分割され、赤外線の生成および検出に使用する方式で識別されます。電磁スペクトルのさまざまなバンドにある赤外線は基本的に同じです。赤外線はすべて同じ法則で規定されており、波長による違いがあるのみです。

10067803;a1

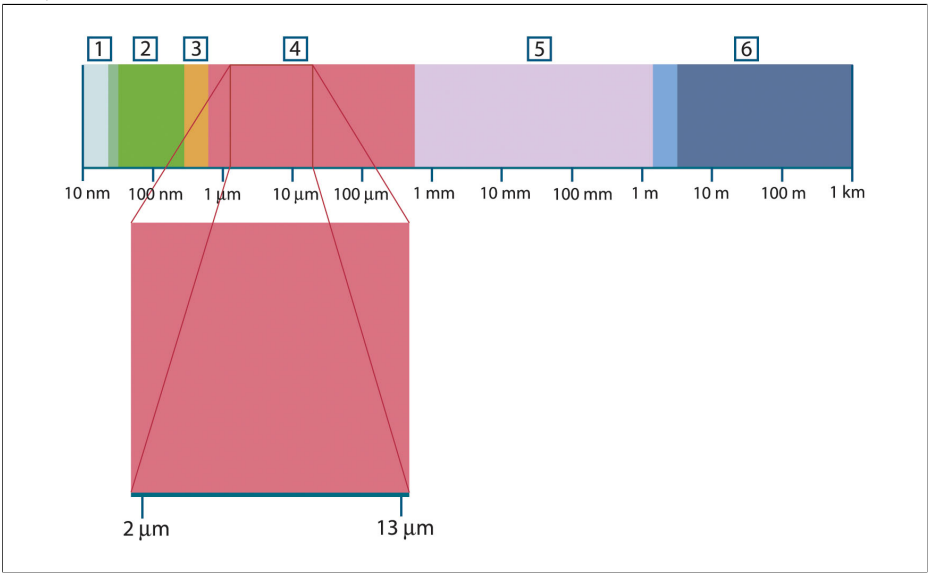


図 **22.1** 電磁スペクトル。**1**： X 線、**2**：UV、**3**：可視像、**4**：熱画像、**5**：マイクロ波、**6**：電波。

サーモグラフィは赤外線スペクトル バンドを利用します。短波長の末端部では、境界は可視光の限界点に深い赤色で存在します。長波長の末端部では、境界はミリメートルの範囲でマイクロ波の電波長と融合します。

多くの場合、赤外線バンドはさらに 4 つの小さなバンドに再分割されます。こうしたバンドの境界も任意に選択されます。そうしたバンドには、*近赤外線* (0.75–3 µm)、*中赤外線* (3–6 µm)、*遠赤外線* (6–15 µm) および*極赤外線* (15–100

μm) があります。波長は μm (マイクロメートル) で提供されますが、このスペクトル範囲での測定には他の単位も未だよく使用されています (*例:* ナノメートル (nm)、オングストローム (Å)。

それぞれの波長測定値の関係は次のとおりです。

$$10\ 000\ \text{Å} = 1\ 000\ \text{nm} = 1\ \mu = 1\ \mu\text{m}$$

22.3 黒体放射

黒体とは、任意の波長にて、黒体上に衝突する放射線をすべて吸収する物体のことです。放射線を発散する物体に関して明らかに誤った呼び名である「*黒*」については、Kirchhoff の原則 (*Gustav Robert Kirchhoff*, 1824–1887 より命名) で説明されています。この原則には、任意の波長にてすべての放射線を吸収できる物体は、放射線の発散も同様に可能であると記載されています。

10398803;a1

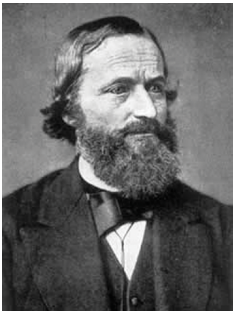


図 **22.2** Gustav Robert Kirchhoff (1824–1887)

黒体源の構造は原理的には非常に単純です。不透明な吸収素材で作られた均一温度の空洞にある開口部の放射特性は、黒体の特性とほぼ同じです。完全な放射線吸収体へのこの法則の実際の用途には、いずれかの側面にある開口部を除いて光を遮断された箱があります。その穴に入り込む放射線は、反射が繰り返されることによって分散され吸収されるため、微量の断片のみが場合によっては逃れられる程度です。開口部で取得される黒度は、黒体とほぼ等しく、すべての波長に対してほぼ最適です。

こうした均一温度の空洞に適切なヒーターを備えると、空洞は*空洞放射体*と呼ばれるものになります。均一の温度に暖められた均一温度の空洞は黒体放射を生成します。この黒体放射の特徴は、空洞の温度のみにより決まります。こうした空洞放射体は一般的に、ラボにて温度基準ゲージの放射源として、たとえば FLIR Systems カメラなどのサーモグラフィ機器のキャリブレートに使用されます。

黒体放射の温度が 525°C (977°F) を超えると、光源が見えるようになり始め、目にはもはや黒とは写らなくなります。これは放射体の初期の赤い熱温度であり、さらに温度が上昇するにつれてオレンジや黄色になります。実際、物体のいわゆる*色温度*とは、同じ色を得るために黒体が熱せられる必要がある温度と定義されています。

ここで、黒体から発散される放射線を説明する 3 つの式について考えてみましょう。

22.3.1 Planck の法則

10399203;a1

図 **22.3** Max Planck (1858–1947)

Max Planck (1858–1947) は、黒体からの放射線のスペクトル分布を次の演算式を使用して説明することができました。

$$W_{\lambda b} = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5\left(e^{hc/\lambda kT} - 1\right)} \times 10^{-6}[Watt/m^2, \mu m]$$

ここで、

$W_{\lambda b}$	波長 λ での黒体スペクトル放射発散度。
c	光速 = 3×10^8 m/s
h	Planck の定数 = 6.6×10^{-34} ジュール秒
k	Boltzmann の定数 = 1.4×10^{-23} ジュール/K。
T	黒体の絶対温度 (K)。
λ	波長 (µm)。

➲ カーブのスペクトル放射はW/m², μmで表現されるため、10^{-6}の係数が使用される。

さまざまな温度をグラフで描画すると、Planckの演算式は一連の曲線を生成します。いずれかの特定の Planck 曲線に従い、スペクトル発散度は λ = 0 にてゼロとなり、急速に上昇して波長 λ_{max} にて最大となります。これを通過すると、非常に長い波長にて再度ゼロに近づきます。温度が上昇するにつれて、最大値が発生する波長は短くなります。

10327103;a4

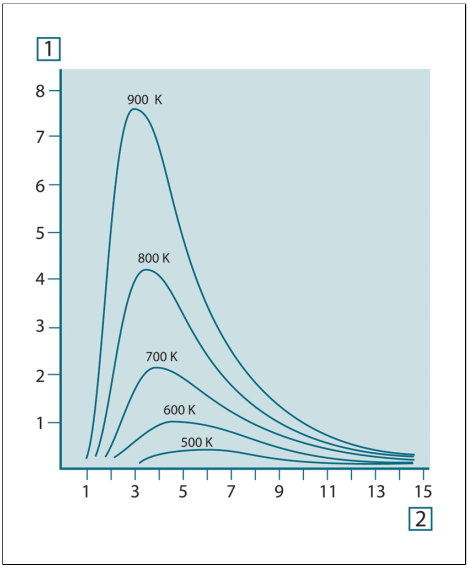


図 **22.4** Planck の法則に従ってさまざまな絶対温度に対して描画された黒体スペクトル放射発散度。**1**： スペクトル放射発散度 (W/cm² × 10³(μm))、**2**： 波長 (μm)

22.3.2 Wien の変位の法則

λに関してPlanckの演算式を差別化し、最大値を見つけると、次の演算式が得られます。

$$\lambda_{\max} = \frac{2898}{T}[\mu m]$$

これは、Wien の演算式 (*Wilhelm Wien*, 1864–1928 より命名) であり、熱放射体の温度が上昇するにつれて色が赤からオレンジまたは黄色へ変化する一般的な観察を数学的に表したものです。色の波長は λ_{max} に対して計算される波長と同じです。任意の黒体温度の λ_{max} 値の適切な近似値は、経験則 3 000/T μm を適用することで得られます。そのため、青みがかった白色の光を発散するシリウスなどの非常に熱い星 (11 000 K) は、0.27 μm の波長にて、不可視の紫外線スペクトル内で発生するスペクトル放射発散度のピークで放射します。

10399403;a1

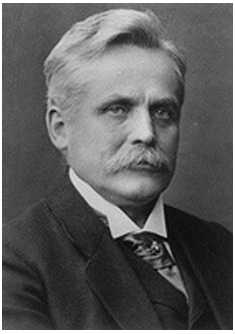


図 **22.5** Wilhelm Wien (1864–1928)

太陽 (約 6 000 K) は可視光スペクトルの中間の約 0.5 µm をピークとして黄色の光を発散します。

室温 (300 K) では、放射発散度のピークは遠赤外線にて 9.7 µm であり、液体窒素の温度 (77 K) では、ほぼ微少な量の放射発散度は超赤外線波長にて 38 µm となります。

10327203;a4

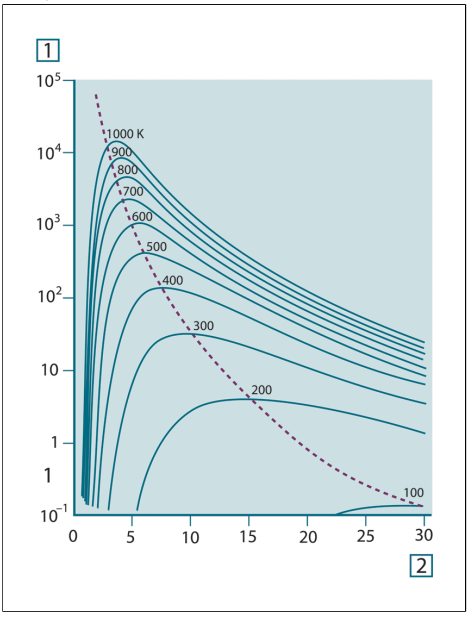


図 **22.6** 100 K から 1000 K までの半対数目盛で描画された Planckian の曲線。点線は、Wien の変位の法則で説明した各温度での最大放射発散度の軌跡を表しています。**1**： スペクトル放射発散度 (W/cm² (µm))、**2**：波長 (µm)。

22.3.3 Stefan-Boltzmann の法則

Planck の演算式を λ = 0 から λ = ∞ に積算すると、以下の黒体の総合放射発散度 (W_b) が得られます。

$$W_b = \sigma T^4 \ [\mathrm{Watt/m^2}]$$

これは、Stefan-Boltzmann の演算式 (*Josef Stefan* (1835 年 ～ 1893 年) および *Ludwig Boltzmann* (1844 年 ～ 1906 年より命名) であり、黒体の総合放射力がその絶対温度の 4 の累乗と比例することを表しています。グラフ化すると、W_b は、特定の温度に対する Planck の曲線の下部の領域を表しています。λ = 0 から λ_{max} までの間隔の放射発散度は全体の 25% のみであることが示され、これは可視光スペクトル内に入る太陽の放射線量とほぼ同じです。

10399303;a1

図 **22.7** Josef Stefan (1835–1893)、および Ludwig Boltzmann (1844–1906)

Stefan-Boltzmann の演算式を使用して、300 K の温度および約 2 m² の外面エリアで人体から放射される力を計算すると、1 kW となります。体温または衣服を追加した温度と大きく異ならない室温では、周囲表面からの放射線の補正吸収がなければ、この力損失を維持することはできません。

22.3.4 非黒体発散体

これまで、黒体放射体および黒体放射について説明してきました。しかし、実際の物体はほとんどの場合、特定のスペクトル間隔では黒体の性質に近づくことはありますが、拡張された波長領域を超えるとこうした法則には当てはまりません。たとえば、ある種の白色塗料が可視光スペクトルにおいて完全な*白*に見える場合がありますが、約 2 µm では「*灰色*」に、3 µm を超えると、ほぼ「*黒*」になります。

実際の物体が黒体のように振舞わなくさせる、起こりうるプロセスは3つあります。つまり、入射放射線の成分 α は吸収され、成分 ρ は反射し、成分 τ は透過されます。こうした3つの成分すべては多かれ少なかれ波長に依存しているため、下付き文字λは、その定義のスペクトル依存性を暗示するために使用されています。そのため、

- 分光吸収率 α_λ = 物体に入射する分光放射と物体が吸収する分光放射の比。
- 分光反射率 ρ_λ = 物体に入射する分光放射と物体が反射する分光放射の比。
- 分光透過率 τ_λ = 物体に入射する分光放射と物体を透過する分光放射の比。

これら3つの要因の合計は必ず任意の波長における全体となるため、次の関係が成り立ちます。

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda + \tau_\lambda = 1$$

不透明な素材では $\tau_\lambda = 0$ であり、関係は次のように簡素化されます。

$$\alpha_\lambda + \rho_\lambda = 1$$

放射率と呼ばれる別の成分は、特定の温度にて物体が生成する黒体の放射放射率の成分 ε を説明するのに必要となります。よって、次の定義が得られます。

分光放射率 ε_λ = 同一の温度および波長において黒体から発せられる分光放射と物体から発せられる分光放射の比。

数学的に表現すると、これは、物体の分光放射率と黒体の分光放射率の比として次のように記載できます。

$$\varepsilon_\lambda = \frac{W_{\lambda o}}{W_{\lambda b}}$$

一般的に、放射源には3つの種類があり、それぞれの分光放射率が波長に応じて変化する方法によって識別されます。

- 黒体、$\varepsilon_\lambda = \varepsilon = 1$
- 灰色体、$\varepsilon_\lambda = \varepsilon = 1$ 未満の定数
- 選択放射体、ε は波長に応じて変化する

Kirchhoffの法則によると、どんな素材の場合も、物体の分光放射率と分光吸収率は、任意の特定の温度および波長では等価となります。つまり、

$$\varepsilon_\lambda = \alpha_\lambda$$

得られた結果から、不透明な素材の場合は次のようになります ($\alpha_\lambda + \rho_\lambda = 1$ であるため)。

$$\varepsilon_\lambda + \rho_\lambda = 1$$

よく磨かれた素材の場合、ε_λ はゼロに近づき、完全な反射素材 (*例:* 完璧な鏡) の場合は次のようになります。

$$\rho_\lambda = 1$$

灰色体放射体の場合、Stefan-Boltzmann の演算式は次のようになります。

$$W = \varepsilon\sigma T^4 \,[\mathrm{Watt/m^2}]$$

これは、灰色体の総放射が、灰色体からのεの値に比例して低下させた同じ温度での黒体と同じになることを示しています。

10401203;a2

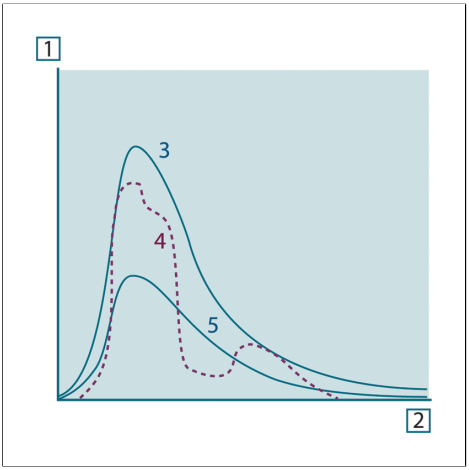


図 **22.8** 3種類の放射体の分光放射放射率。**1**： 分光放射放射率、**2**：波長、**3**：黒体、**4**：選択放射体、**5**：灰色体。

10327303;a4

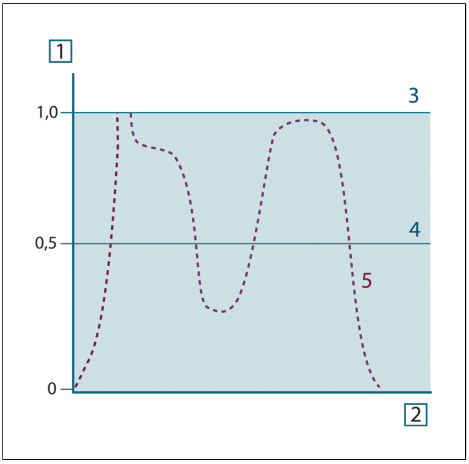


図 **22.9** 3 種類の放射体の分光放射率。**1**： 分光放射率、**2**：波長、**3**：黒体、**4**：灰色体、**5**：選択放射体。

22.4 赤外線半透過性素材

次に、非金属の半透過体、つまり、厚いプラスチック素材の平板などについて考えてみましょう。板を熱すると、その体積内で生成される放射線は、一部を吸収されながら素材を通して表面に向かって働きます。さらに、放射線が表面に達すると、そのうちのいくらかは内部に反射し戻されます。反射しもどされた放射線はふたたび一部が吸収されながら、反対側の表面に到達し、その表面からほとんどの放射線は脱出し、一部は再度反射し戻されます。この累進的な反射はだんだん弱くなりますが、板の総放射率を得る際にはすべてを総計する必要があります。結果として得られる等比級数を合計すると、半透過性の板の有効な放射率は次のようになります。

$$\varepsilon_\lambda = \frac{(1-\rho_\lambda)(1-\tau_\lambda)}{1-\rho_\lambda\tau_\lambda}$$

板が不透明となると、この演算式は単一の演算式に縮小されます。

$$\varepsilon_\lambda = 1-\rho_\lambda$$

この最終的な関係式は、放射率を直接測定するより反射率を測定するほうが容易である場合も多いため、特に便利な式です。

23 測定演算式

すでに述べたとおり、物体を表示する場合、カメラが受け取る放射線は物体自体からだけではありません。物体表面を介して反射される周辺からの放射線も収集されます。これらの 2 つの放射線の影響は、測定過程に存在する大気によってある程度吸収されます。さらに、大気自体からの3つ目の放射線の影響が加わります。

測定状態についてのこの説明は、下図に示すとおり、現実の測定においても同様です。無視されたものには、たとえば、大気中に分散する太陽光や視界外部のきわめて強い放射線源からの迷放射線などがありえます。しかし、こうした妨害は定量化が難しく、ほとんどの場合、それらは無視できるほどに小さいものです。無視できない場合、測定構成は、少なくとも教育を受けたオペレータには妨害のリスクが明白である場合が多いのです。その場合、たとえば、測定の向きを変更したり、きわめて強い放射線源を遮断したりして妨害を避けるために測定状態を修正するのはオペレータの対応力となります。

下図を使用して、キャリブレートしたカメラ出力からの物体温度を計算するための演算式を得ることができます。

10400503;a1

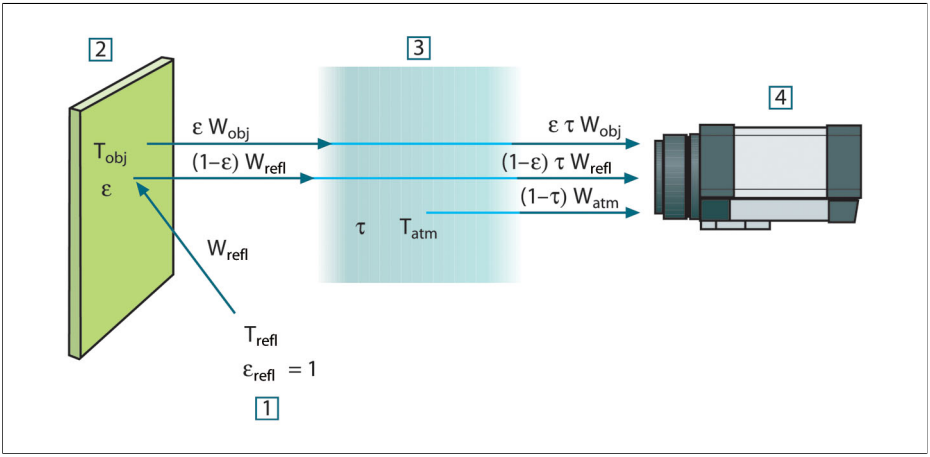


図 **23.1** 一般的なサーモグラフィ測定状態の図式表示。**1**：周辺、**2**：物体、**3**：大気、**4**：カメラ

短距離上にある温度 T_{source} の黒体源から受け取られる放射 W により、放射入力 (放射リニア カメラ) と比例するカメラ出力信号 U_{source} が生成されます。ここで次の式が成り立ちます (方程式 1)。

$$U_{source} = CW(T_{source})$$

または、簡易表記では次のようになります。

$$U_{source} = CW_{source}$$

ここで、C は定数を表します。

そのため、放射線源が放射率 ε の灰色体である場合、受け取られる放射線は εW_{source} となります。

ここで、収集される 3 つの放射力条件を定義できます。

1 – 物体からの発散度 = $\varepsilon\tau W_{obj}$、ここで ε は物体からの発散量を表し、τ は大気の伝達率を表します。物体温度は、T_{obj} です。

2 – 外気源からの反射発散度 = $(1-\varepsilon)\tau W_{refl}$、ここで (1 – ε) は物体の反射度を表します。外気源の温度は T_{refl} です。

温度 T_{refl} は、物体表面上のあるポイントから見える半球内にあるすべての発散表面の温度と同じであると想定されています。もちろん、時にこれは実際の状態を簡素化したものとなります。ただし、これは有効な演算式を得るには必要な簡素化であり、T_{refl} は (少なくとも論理的には) 複雑な周囲の有効な温度を表した値として付与できます。

また、周囲の放射率を 1 と想定していることにも注意してください。これは、Kirchhoff の法則に則った適切な値です。周囲表面上に衝突するすべての放射線は、最終的にその同じ表面によって吸収されます。そのため、放射率は 1 となります。(ただし、最近の論議では、物体周辺の全球を考慮する必要があると言われています。)

3 – 大気からの発散度 = $(1-\tau)\tau W_{atm}$、ここで (1 – τ) は大気の放射率を表します。大気の温度は、T_{atm} です。

受け取られる総放射力は次のように記述できます (方程式 2)。

$$W_{tot} = \varepsilon\tau W_{obj} + (1-\varepsilon)\tau W_{refl} + (1-\tau)W_{atm}$$

各条件に方程式 1 の定数 C を掛け、同方程式に従い、対応する U で CW の積を置き換えると、次の式が得られます (方程式 3)。

$$U_{tot} = \varepsilon\tau U_{obj} + (1-\varepsilon)\tau U_{refl} + (1-\tau)U_{atm}$$

U_{obj} に対して方程式 3 を解くと次のようになります (方程式 4)。

$$U_{obj} = \frac{1}{\varepsilon\tau}U_{tot} - \frac{1-\varepsilon}{\varepsilon}U_{refl} - \frac{1-\tau}{\varepsilon\tau}U_{atm}$$

これは、すべての FLIR Systems サーモグラフィ機器で使用される一般的な測定演算式です。演算式の電圧は次のようになります。

図 **23.2** 電圧

U_{obj}	温度 T_{obj} の黒体に対する計算されたカメラ出力電圧。例: 実際の要求された物体温度に直接変換できる電圧。
U_{tot}	実際の測定されたカメラ出力電圧。
U_{refl}	キャリブレーション応じた、温度 T_{refl} の黒体に対する論理上のカメラ出力電圧。
U_{atm}	キャリブレーション応じた、温度 T_{atm} の黒体に対する論理上のカメラ出力電圧。

操作時には、計算には多数のパラメータ値を入力する必要があります。

- 物体の放射率 ε
- 相対湿度
- T_{atm}
- 物体の距離 (D_{obj})
- 物体周辺の (有効な) 温度または反射周辺温度 T_{refl}
- 大気の温度 T_{atm}

実際の正確な放射率や大気伝達率の値を見つけるのは通常容易ではないため、オペレータにとってこれは時に困難な作業となる場合があります。周辺に大量の強力な放射線源がない場合、これら2つの温度は通常問題にはなりません。

この関係において問題となるのは、こうしたパラメータの正しい値を知ることの重要性についてです。しかし、いくつかの異なる測定を検討したり、3つの放射線条件の相対的な重要性を比較することで、こうした問題がすでに存在するという印象を受けるのは興味深いこととも言えます。どのパラメータの適切な値をいつ使用することが重要かということについての指針を与えてくれるからです。

この後に示す図では、3 つの異なる物体温度、2 つの放射率、および 2 つのスペクトル範囲 (SW と LW) に対して 3 つの放射線が与える影響の相対的な重要性を示しています。残りのパラメータには次の固定値があります。

- $\tau = 0.88$
- $T_{refl} = +20°C$
- $T_{atm} = +20°C$

最初の測定では「妨害」放射線源は比較的強力であるため、低い物体温度の測定は、高温の測定より重要であることは明白です。物体の放射率も低い場合、状態はずっと難しくなります。

ここでやっと、補外法と呼ばれる最高キャリブレーション ポイントより上のキャリブレーション曲線を使用できるようにすることの重要性についての質問に答えることができます。ある測定にて、U_{tot} = 4.5 ボルトを測定していると想定してみます。カメラの最高キャリブレーション ポイントは、4.1 ボルト、オペレータの知らない値の順でした。そのため、物体がたまたま黒体 (例: $U_{obj} = U_{tot}$) である場合であっても、実際には 4.5 ボルトを温度に変換する際のキャリブレーション曲線を補外法で推定することになります。

ここで、物体が黒ではなく、0.75 の放射率と途中の大気が 0.92 の伝達率を持っていると想定します。また、方程式 4 の 2 つの第二条件は総計で 0.5 ボルトであると想定します。方程式 4 を使用した U_{obj} の計算結果は、U_{obj} = 4.5 / 0.75 / 0.92 – 0.5 = 6.0 となります。これは、特にビデオ増幅器の出力制限が 5 ボルトである可能性があることを考えると、非常に過激な補外法といえます。ただし、このキャリブレーション曲線の応用は、電気的制限などが存在しない論理的手順であることに注意してください。カメラに信号制限がなく、5 ボルトよりずっと上の値でキャリブレートされた場合、FLIR Systems アルゴリズムのようにキャリブレーション アルゴリズムが放射物理学に基づいているなら、結果曲線は 4.1 ボルトを超えて補外法で推定された実際の曲線とまったく同じになるはずです。もちろん、そうした補外法に対する制限は存在するでしょう。

10400603;a2

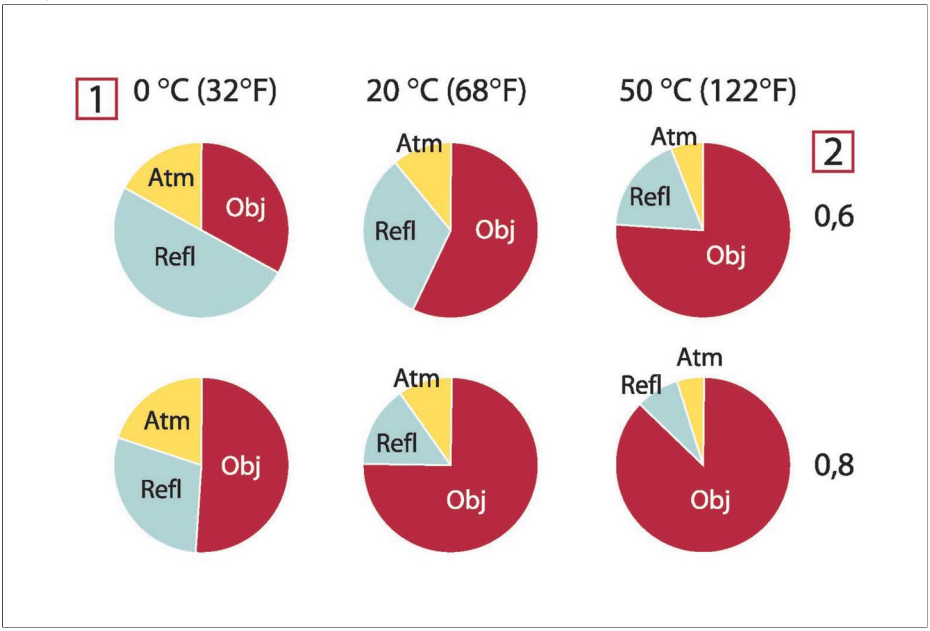


図 **23.3** 変化する測定条件下での放射線源の相対的な大きさ (SW カメラ)。**1:** 対象物の温度範囲、**2:**放射率、**Obj:**物体放射線、**Refl:**反射放射線、**Atm:**黒体放射線。固定パラメータ:τ = 0.88、T_{refl} = 20°C、T_{atm} = 20°C。

10400703;a2

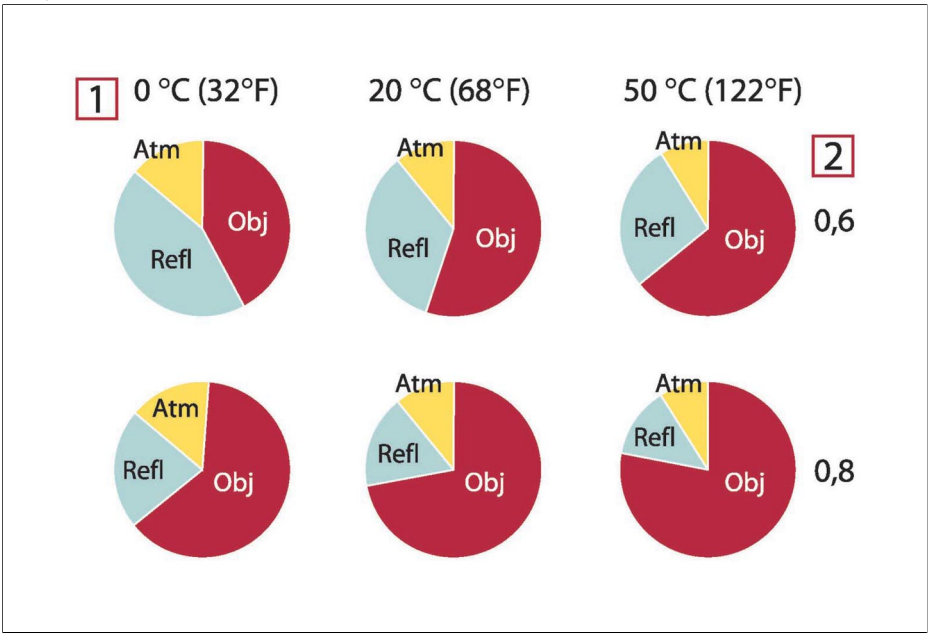


図 **23.4** 変化する測定条件下での放射線源の相対的な大きさ (LW カメラ)。**1:** 対象物の温度範囲、**2:**放射率、**Obj:**物体放射線、**Refl:**反射放射線、**Atm:**黒体放射線。固定パラメータ:τ = 0.88、T_{refl} = 20°C、T_{atm} = 20°C。

24 放射率表

この項では、赤外線の文献および FLIR Systems の測定値からの放射率データを収集したものを提供しています。

24.1 参考文献

1	Mikaél A. Bramson 著 『*Infrared Radiation, A Handbook for Applications*』Plenum press、N.Y
2	William L. Wolfe, George J. Zissis 著 『*The Infrared Handbook*』Office of Naval Research、Department of Navy、Washington, D.C.
3	Madding, R. P. 著 『*Thermographic Instruments and systems*』 Madison、Wisconsin: University of Wisconsin – Extension、Department of Engineering and Applied Science
4	William L. Wolfe 著 『*Handbook of Military Infrared Technology*』Office of Naval Research、Department of Navy、Washington, D.C.
5	Jones、Smith、Probert 共著 『*External thermography of buildings...,*』Proc. of the Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers、vol.110、Industrial and Civil Applications of Infrared Technology、June 1977 London
6	Paljak、Pettersson 共著 『*Thermography of Buildings*』Swedish Building Research Institute、Stockholm 1972
7	Vlcek, J 著 『*Determination of emissivity with imaging radiometers and some emissivities at λ = 5 µm.* Photogrammetric Engineering and Remote Sensing』
8	Kern 著 『*Evaluation of infrared emission of clouds and ground as measured by weather satellites*』Defence Documentation Center、AD 617 417
9	Öhman、Claes 共著 『*Emittansmätningar med AGEMA E-Box*』 Teknisk rapport, AGEMA 1999. (AGEMA E-Box を使用した放射測定。テクニカル レポート、AGEMA 1999)
10	Matteï, S、Tang-Kwor, E 共著『*Emissivity measurements for Nextel Velvet coating 811-21 between –36°C AND 82°C.*』
11	Lohrengel & Todtenhaupt (1996)
12	ITC Technical publication 32
13	ITC Technical publication 29

24.2 放射率表についての重要な注

以下の表の放射率値は、短波 (SW) カメラを使用して記録されたものです。値は、推奨値としてのみ使用すべきであり、注意して使用する必要があります。

24.3 表

図 **24.1 T:** 合計スペクトル、**SW:** 2–5 μm、**LW:** 8–14 μm、**LLW:** 6.5–20 μm、**1:** 素材、**2:** 仕様、**3:** 温度 (°C)、**4:** スペクトル、**5:** 放射率、**6:** 基準

1	2	3	4	5	6
3M タイプ 35	ビニール電気テープ (複数色)	< 80	LW	Ca. 0.96	13
3M タイプ 88	黒ビニール電気テープ	< 105	LW	Ca. 0.96	13
3M タイプ 88	黒ビニール電気テープ	< 105	MW	< 0.96	13
3M タイプ Super 33+	黒ビニール電気テープ	< 80	LW	Ca. 0.96	13
Krylon ウルトラブラック 1602	黒色	最高 175 の室温	LW	Ca. 0.96	12
Krylon ウルトラブラック 1602	黒色	最高 175 の室温	MW	Ca. 0.96	12
Nextel Velvet 811-21 黒	黒色	–60–150	LW	> 0.97	10、11
アスファルト舗装		4	LLW	0.967	8
アスベスト	床タイル	35	SW	0.94	7
アスベスト	板状	20	T	0.96	1
アスベスト	石板	20	T	0.96	1
アスベスト	粉末		T	0.40–0.60	1
アスベスト	紙	40–400	T	0.93–0.95	1
アスベスト	織物		T	0.78	1
アルミニウム	HNO_3 に浸漬、プレート	100	T	0.05	4
アルミニウム	ざらざらの状態	27	3 μm	0.28	3
アルミニウム	ざらざらの状態	27	10 μm	0.18	3
アルミニウム	シート、それぞれに違った傷をつけた 4 つのサンプル	70	LW	0.03–0.06	9

1	2	3	4	5	6
アルミニウム	シート、それぞれに違った傷をつけた 4 つのサンプル	70	SW	0.05–0.08	9
アルミニウム	受入、シート	100	T	0.09	2
アルミニウム	受入、プレート	100	T	0.09	4
アルミニウム	強度に酸化	50–500	T	0.2–0.3	1
アルミニウム	真空蒸着	20	T	0.04	2
アルミニウム	研磨	50–100	T	0.04–0.06	1
アルミニウム	研磨、シート	100	T	0.05	2
アルミニウム	研磨プレート	100	T	0.05	4
アルミニウム	粗い表面	20–50	T	0.06–0.07	1
アルミニウム	金属箔	27	3 μm	0.09	3
アルミニウム	金属箔	27	10 μm	0.04	3
アルミニウム	鋳込、ブラストクリーニング済み	70	LW	0.46	9
アルミニウム	鋳込、ブラストクリーニング済み	70	SW	0.47	9
アルミニウム	長期にわたり風雨にさらした状態	17	SW	0.83–0.94	5
アルミニウム	陽極酸化、明灰色、つやなし	70	LW	0.97	9
アルミニウム	陽極酸化、明灰色、つやなし	70	SW	0.61	9
アルミニウム	陽極酸化、黒、つやなし	70	LW	0.95	9
アルミニウム	陽極酸化、黒、つやなし	70	SW	0.67	9
アルミニウム	陽極酸化シート	100	T	0.55	2
アルミ青銅		20	T	0.60	1
エナメル		20	T	0.9	1

1	2	3	4	5	6
エナメル	漆	20	T	0.85–0.95	1
エボナイト			T	0.89	1
エメリー	荒目	80	T	0.85	1
クロム	研磨	50	T	0.10	1
クロム	研磨	500–1000	T	0.28–0.38	1
コンクリート		20	T	0.92	2
コンクリート	ざらざらの状態	17	SW	0.97	5
コンクリート	乾燥	36	SW	0.95	7
コンクリート	歩道	5	LLW	0.974	8
ゴム	硬質	20	T	0.95	1
ゴム	軟質、灰色、粗目	20	T	0.95	1
スタッコ	粗目、石灰	10–90	T	0.91	1
ステンレス鋼	シート、未処理、多少のひっかき傷	70	LW	0.28	9
ステンレス鋼	シート、未処理、多少のひっかき傷	70	SW	0.30	9
ステンレス鋼	シート、研磨	70	LW	0.14	9
ステンレス鋼	シート、研磨	70	SW	0.18	9
ステンレス鋼	タイプ 18-8、800°C で酸化	60	T	0.85	2
ステンレス鋼	タイプ 18-8、もみ皮研磨	20	T	0.16	2
ステンレス鋼	合金、8% ニッケル、18% クロム	500	T	0.35	1
ステンレス鋼	巻き取り	700	T	0.45	1
ステンレス鋼	砂吹き	700	T	0.70	1
スラグ	ボイラー	0–100	T	0.97–0.93	1
スラグ	ボイラー	200–500	T	0.89–0.78	1
スラグ	ボイラー	600–1200	T	0.76–0.70	1

1	2	3	4	5	6
スラグ	ボイラー	1400–1800	T	0.69–0.67	1
タイル	光沢	17	SW	0.94	5
タングステン		200	T	0.05	1
タングステン		600–1000	T	0.1–0.16	1
タングステン		1500–2200	T	0.24–0.31	1
タングステン	フィラメント	3300	T	0.39	1
タール			T	0.79–0.84	1
タール	紙	20	T	0.91–0.93	1
チタン	540°C で酸化	200	T	0.40	1
チタン	540°C で酸化	500	T	0.50	1
チタン	540°C で酸化	1000	T	0.60	1
チタン	研磨	200	T	0.15	1
チタン	研磨	500	T	0.20	1
チタン	研磨	1000	T	0.36	1
ニクロム	巻き取り	700	T	0.25	1
ニクロム	砂吹き	700	T	0.70	1
ニクロム	金属線、清潔	50	T	0.65	1
ニクロム	金属線、清潔	500–1000	T	0.71–0.79	1
ニクロム	金属線、酸化	50–500	T	0.95–0.98	1
ニッケル	600°C で酸化	200–600	T	0.37–0.48	1
ニッケル	商業的純度、研磨	100	T	0.045	1
ニッケル	商業的純度、研磨	200–400	T	0.07–0.09	1
ニッケル	明マット	122	T	0.041	4
ニッケル	研磨	122	T	0.045	4
ニッケル	酸化	200	T	0.37	2
ニッケル	酸化	227	T	0.37	4
ニッケル	酸化	1227	T	0.85	4

1	2	3	4	5	6
ニッケル	金属線	200–1000	T	0.1–0.2	1
ニッケル	鉄に電気めっき、未研磨	20	T	0.11–0.40	1
ニッケル	鉄に電気めっき、未研磨	22	T	0.11	4
ニッケル	鉄に電気めっき、研磨	22	T	0.045	4
ニッケル	電気めっき、研磨	20	T	0.05	2
ニッケル	電気分解	22	T	0.04	4
ニッケル	電気分解	38	T	0.06	4
ニッケル	電気分解	260	T	0.07	4
ニッケル	電気分解	538	T	0.10	4
ブリキ	シート	24	T	0.064	4
プラスチック	PVC、プラスチックの床、つやなし、構造体	70	LW	0.93	9
プラスチック	PVC、プラスチックの床、つやなし、構造体	70	SW	0.94	9
プラスチック	ガラス繊維薄板(印刷済みシルクボード)	70	LW	0.91	9
プラスチック	ガラス繊維薄板(印刷済みシルクボード)	70	SW	0.94	9
プラスチック	ポリウレタン隔離板	70	LW	0.55	9
プラスチック	ポリウレタン隔離板	70	SW	0.29	9
ボール紙	未処理	20	SW	0.90	6
マグネシウム		22	T	0.07	4
マグネシウム		260	T	0.13	4
マグネシウム		538	T	0.18	4

1	2	3	4	5	6
マグネシウム	研磨	20	T	0.07	2
マグネシウム粉			T	0.86	1
モリブデン		600–1000	T	0.08–0.13	1
モリブデン		1500–2200	T	0.19–0.26	1
モリブデン	フィラメント	700–2500	T	0.1–0.3	1
モルタル		17	SW	0.87	5
モルタル	乾燥	36	SW	0.94	7
ワニス	ぶな材の寄木床上	70	LW	0.90–0.93	9
ワニス	ぶな材の寄木床上	70	SW	0.90	9
ワニス	平坦	20	SW	0.93	6
二酸化銅	粉末		T	0.84	1
亜鉛	400°C で酸化	400	T	0.11	1
亜鉛	シート	50	T	0.20	1
亜鉛	研磨	200–300	T	0.04–0.05	1
亜鉛	表面が酸化	1000–1200	T	0.50–0.60	1
亜鉛めっき鉄	シート	92	T	0.07	4
亜鉛めっき鉄	シート、光沢	30	T	0.23	1
亜鉛めっき鉄	シート、酸化	20	T	0.28	1
亜鉛めっき鉄	強度に酸化	70	LW	0.85	9
亜鉛めっき鉄	強度に酸化	70	SW	0.64	9
土	乾燥	20	T	0.92	2
土	水がしみこんだ状態	20	T	0.95	2
塗料	8色で品質もさまざま	70	LW	0.92–0.94	9
塗料	8色で品質もさまざま	70	SW	0.88–0.96	9

1	2	3	4	5	6
塗料	アルミニウム、さまざまな経過年数	50–100	T	0.27–0.67	1
塗料	オイル ベース、平均 16 色	100	T	0.94	2
塗料	カドミウム イエロー		T	0.28–0.33	1
塗料	クロム緑		T	0.65–0.70	1
塗料	コバルト ブルー		T	0.7–0.8	1
塗料	プラスチック、白	20	SW	0.84	6
塗料	プラスチック、黒	20	SW	0.95	6
塗料	油	17	SW	0.87	5
塗料	油、多色	100	T	0.92–0.96	1
塗料	油、灰色光沢	20	SW	0.96	6
塗料	油、灰色平坦	20	SW	0.97	6
塗料	油、黒光沢	20	SW	0.92	6
塗料	油、黒色平坦	20	SW	0.94	6
壁紙	薄い模様、明灰色	20	SW	0.85	6
壁紙	薄い模様、赤	20	SW	0.90	6
布	黒	20	T	0.98	1
木材		17	SW	0.98	5
木材		19	LLW	0.962	8
木材	ベニヤ合板、平滑、乾燥	36	SW	0.82	7
木材	ベニヤ合板、未処理	20	SW	0.83	6
木材	地面		T	0.5–0.7	1
木材	松材、4つのサンプル	70	LW	0.81–0.89	9

1	2	3	4	5	6
木材	松材、4つのサンプル	70	SW	0.67–0.75	9
木材	白、湿った状態	20	T	0.7–0.8	1
木材	面状	20	T	0.8–0.9	1
木材	面状ぶな材	20	T	0.90	2
木材	面状ぶな材	70	LW	0.88	9
木材	面状ぶな材	70	SW	0.77	9
水	1 層 >0.1 mm の厚さ	0–100	T	0.95–0.98	1
水	氷、滑らか	–10	T	0.96	2
水	氷、滑らか	0	T	0.97	1
水	氷、表面に多量の霜	0	T	0.98	1
水	蒸留	20	T	0.96	2
水	雪		T	0.8	1
水	雪	–10	T	0.85	2
水	霜の結晶体	–10	T	0.98	2
水酸化アルミニウム	粉末		T	0.28	1
氷: 水を参照					
油、潤滑用	0.025 mm の薄膜	20	T	0.27	2
油、潤滑用	0.050 mm の薄膜	20	T	0.46	2
油、潤滑用	0.125 mm の薄膜	20	T	0.72	2
油、潤滑用	ニッケルベース上の薄膜: ニッケル ベースのみ	20	T	0.05	2
油、潤滑用	厚塗り	20	T	0.82	2
漆	3色でアルミニウム上に吹き付け	70	LW	0.92–0.94	9
漆	3色でアルミニウム上に吹き付け	70	SW	0.50–0.53	9

1	2	3	4	5	6
漆	ざらざらの表面上のアルミニウム	20	T	0.4	1
漆	フェノール樹脂	80	T	0.83	1
漆	白	40–100	T	0.8–0.95	1
漆	白	100	T	0.92	2
漆	耐熱	100	T	0.92	1
漆	黒、つやあり、鉄に吹き付け	20	T	0.87	1
漆	黒、つやなし	40–100	T	0.96–0.98	1
漆	黒、マット	100	T	0.97	2
漆喰		17	SW	0.86	5
漆喰	石膏ボード、未処理	20	SW	0.90	6
漆喰	粗目コート	20	T	0.91	2
炭素	ろうそくの煤煙	20	T	0.95	2
炭素	油煙	20–400	T	0.95–0.97	1
炭素	炭粉		T	0.96	1
炭素	黒鉛、表面にやすりをかけたもの	20	T	0.98	2
炭素	黒鉛粉		T	0.97	1
煉瓦	アルミナ	17	SW	0.68	5
煉瓦	シリカ、95% SiO_2	1230	T	0.66	1
煉瓦	シリマナイト、33% SiO_2、64% Al_2O_3	1500	T	0.29	1
煉瓦	ディナス シリカ、低光沢、ざらざらの状態	1000	T	0.80	1
煉瓦	ディナス シリカ、光沢、ざらざらの状態	1100	T	0.85	1

1	2	3	4	5	6
煉瓦	ディナス シリカ、耐火	1000	T	0.66	1
煉瓦	共通	17	SW	0.86–0.81	5
煉瓦	石造り	35	SW	0.94	7
煉瓦	石造り、漆喰	20	T	0.94	1
煉瓦	耐水	17	SW	0.87	5
煉瓦	耐火、わずかに放射	500–1000	T	0.65–0.75	1
煉瓦	耐火、コランダム	1000	T	0.46	1
煉瓦	耐火、マグネサイト	1000–1300	T	0.38	1
煉瓦	耐火、強度に放射	500–1000	T	0.8–0.9	1
煉瓦	耐火煉瓦	17	SW	0.68	5
煉瓦	耐火粘土	20	T	0.85	1
煉瓦	耐火粘土	1000	T	0.75	1
煉瓦	耐火粘土	1200	T	0.59	1
煉瓦	赤、ざらざらの状態	20	T	0.88–0.93	1
煉瓦	赤、共通	20	T	0.93	2
発泡スチロール	絶縁	37	SW	0.60	7
白金		17	T	0.016	4
白金		22	T	0.03	4
白金		100	T	0.05	4
白金		260	T	0.06	4
白金		538	T	0.10	4
白金		1000–1500	T	0.14–0.18	1
白金		1094	T	0.18	4
白金	リボン	900–1100	T	0.12–0.17	1
白金	純粋、研磨	200–600	T	0.05–0.10	1

1	2	3	4	5	6
白金	金属線	50–200	T	0.06–0.07	1
白金	金属線	500–1000	T	0.10–0.16	1
白金	金属線	1400	T	0.18	1
皮膚	人間	32	T	0.98	2
皮革	褐色		T	0.75–0.80	1
真鍮	80 グリットのエメリーで摩擦	20	T	0.20	2
真鍮	600°C で酸化	200–600	T	0.59–0.61	1
真鍮	つやなし、変色	20–350	T	0.22	1
真鍮	シート、エメリーにて処理	20	T	0.2	1
真鍮	シート、巻き取り	20	T	0.06	1
真鍮	十分に研磨済み	100	T	0.03	2
真鍮	研磨	200	T	0.03	1
真鍮	酸化	70	SW	0.04–0.09	9
真鍮	酸化	70	LW	0.03–0.07	9
真鍮	酸化	100	T	0.61	2
石灰			T	0.3–0.4	1
石膏		20	T	0.8–0.9	1
砂			T	0.60	1
砂		20	T	0.90	2
砂岩	ざらざらの状態	19	LLW	0.935	8
砂岩	研磨	19	LLW	0.909	8
磁器	光沢	20	T	0.92	1
磁器	白、つやあり		T	0.70–0.75	1
粘土	燃焼	70	T	0.91	1
紙	4 色	70	LW	0.92–0.94	9
紙	4 色	70	SW	0.68–0.74	9
紙	白	20	T	0.7–0.9	1

1	2	3	4	5	6
紙	白、3種類の光沢	70	LW	0.88–0.90	9
紙	白、3種類の光沢	70	SW	0.76–0.78	9
紙	白色接着剤	20	T	0.93	2
紙	緑		T	0.85	1
紙	赤		T	0.76	1
紙	青、暗色		T	0.84	1
紙	黄色		T	0.72	1
紙	黒		T	0.90	1
紙	黒、つやなし		T	0.94	1
紙	黒、つやなし	70	LW	0.89	9
紙	黒、つやなし	70	SW	0.86	9
紙	黒漆で上塗り		T	0.93	1
繊維板	チップボード	70	LW	0.89	9
繊維板	チップボード	70	SW	0.77	9
繊維板	メゾナイト	70	LW	0.88	9
繊維板	メゾナイト	70	SW	0.75	9
繊維板	多孔、未処理	20	SW	0.85	6
繊維板	硬質、未処理	20	SW	0.85	6
花崗岩	ざらざらの状態	21	LLW	0.879	8
花崗岩	ざらざらの状態、4つのサンプル	70	LW	0.77–0.87	9
花崗岩	ざらざらの状態、4つのサンプル	70	SW	0.95–0.97	9
花崗岩	研磨	20	LLW	0.849	8
酸化アルミニウム	活性、粉末		T	0.46	1
酸化アルミニウム	純粋、粉末(アルミナ)		T	0.16	1
酸化ニッケル		500–650	T	0.52–0.59	1

1	2	3	4	5	6
酸化ニッケル		1000–1250	T	0.75–0.86	1
酸化銅	赤、粉末		T	0.70	1
金	入念に研磨	200–600	T	0.02–0.03	1
金	十分に研磨済み	100	T	0.02	2
金	研磨	130	T	0.018	1
鉄、鋳込	600°C で酸化	200–600	T	0.64–0.78	1
鉄、鋳込	インゴット	1000	T	0.95	1
鉄、鋳込	未加工	900–1100	T	0.87–0.95	1
鉄、鋳込	機械仕上げ	800–1000	T	0.60–0.70	1
鉄、鋳込	液状	1300	T	0.28	1
鉄、鋳込	研磨	38	T	0.21	4
鉄、鋳込	研磨	40	T	0.21	2
鉄、鋳込	研磨	200	T	0.21	1
鉄、鋳込	酸化	38	T	0.63	4
鉄、鋳込	酸化	100	T	0.64	2
鉄、鋳込	酸化	260	T	0.66	4
鉄、鋳込	酸化	538	T	0.76	4
鉄、鋳込	鋳造	50	T	0.81	1
鉄鋼	ざらざらの状態、平面	50	T	0.95–0.98	1
鉄鋼	つやあり、腐食	150	T	0.16	1
鉄鋼	つやあり酸化層、シート	20	T	0.82	1
鉄鋼	低温巻き取り	70	LW	0.09	9
鉄鋼	低温巻き取り	70	SW	0.20	9
鉄鋼	加工済み、入念に研磨	40–250	T	0.28	1
鉄鋼	巻き取り、処理したて	20	T	0.24	1
鉄鋼	巻き取りシート	50	T	0.56	1

1	2	3	4	5	6
鉄鋼	強度に酸化	50	T	0.88	1
鉄鋼	強度に酸化	500	T	0.98	1
鉄鋼	接地シート	950–1100	T	0.55–0.61	1
鉄鋼	新たにエメリーにて処理	20	T	0.24	1
鉄鋼	研磨	100	T	0.07	2
鉄鋼	研磨	400–1000	T	0.14–0.38	1
鉄鋼	研磨したシート	750–1050	T	0.52–0.56	1
鉄鋼	赤錆の付いた状態	20	T	0.61–0.85	1
鉄鋼	赤錆付き、シート	22	T	0.69	4
鉄鋼	酸化	100	T	0.74	1
鉄鋼	酸化	100	T	0.74	4
鉄鋼	酸化	125–525	T	0.78–0.82	1
鉄鋼	酸化	200	T	0.79	2
鉄鋼	酸化	200–600	T	0.80	1
鉄鋼	酸化	1227	T	0.89	4
鉄鋼	重度に錆びたシート	20	T	0.69	2
鉄鋼	重度に錆付き	17	SW	0.96	5
鉄鋼	錆びた状態、赤	20	T	0.69	1
鉄鋼	電気分解	22	T	0.05	4
鉄鋼	電気分解	100	T	0.05	4
鉄鋼	電気分解	260	T	0.07	4
鉄鋼	電解、入念に研磨	175–225	T	0.05–0.06	1
鉄鋼	高温巻き取り	20	T	0.77	1
鉄鋼	高温巻き取り	130	T	0.60	1
鉛	200°C で酸化	200	T	0.63	1
鉛	つやあり	250	T	0.08	1

1	2	3	4	5	6
鉛	酸化、灰色	20	T	0.28	1
鉛	酸化、灰色	22	T	0.28	4
鉛	非酸化、研磨	100	T	0.05	4
鉛赤		100	T	0.93	4
鉛赤、粉末		100	T	0.93	1
銀	研磨	100	T	0.03	2
銀	純粋、研磨	200–600	T	0.02–0.03	1
銅	商用、光沢	20	T	0.07	1
銅	強度に酸化	20	T	0.78	2
銅	擦り傷	27	T	0.07	4
銅	暗黒色に酸化		T	0.88	1
銅	溶解	1100–1300	T	0.13–0.15	1
銅	研磨	50–100	T	0.02	1
銅	研磨	100	T	0.03	2
銅	研磨、商用	27	T	0.03	4
銅	研磨、機械用	22	T	0.015	4
銅	純粋、表面は入念に準備	22	T	0.008	4
銅	酸化	50	T	0.6–0.7	1
銅	酸化、黒	27	T	0.78	4
銅	電解、入念に研磨	80	T	0.018	1
銅	電解、研磨	–34	T	0.006	4
錫	光沢	20–50	T	0.04–0.06	1
錫	錫めっきしたシート状の鉄	100	T	0.07	2
雪: 水を参照					
青銅	多孔、ざらざらの状態	50–150	T	0.55	1
青銅	燐銅	70	LW	0.06	9

1	2	3	4	5	6
青銅	燐銅	70	SW	0.08	9
青銅	研磨	50	T	0.1	1
青銅	粉末		T	0.76–0.80	1

A note on the technical production of this publication

This publication was produced using XML—the e*Xtensible Markup Language*. For more information about XML, please visit http://www.w3.org/XML/

List of effective files

20235120.xml a13
20235220.xml a8
20235320.xml a8
20236720.xml a17
20237120.xml a8
20238520.xml a6
20238720.xml a5
20250420.xml a15
20254903.xml a65
20257020.xml a23
20257120.xml a7
20257320.xml a14
20273220.xml a9
20275220.xml a12
20279820.xml a6
20281020.xml a3
20287320.xml a7
20287720.xml a3
20287820.xml a3
20287920.xml a1
20288020.xml a3
20288120.xml a3
20288220.xml a3
20288320.xml a2
20288420.xml a4
20288520.xml a3
20292420.xml a5
20293920.xml a1
20294020.xml a1
R131.rcp a1
config.xml a5

Corporate Headquarters
FLIR Systems, Inc.
27700 SW Parkway Avenue
Wilsonville, OR 97070
USA
Telephone: +1-800-727-3547
Website: http://www.flir.com